

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 547**

51 Int. Cl.:

F28D 17/02 (2006.01)

F28D 17/00 (2006.01)

C04B 35/195 (2006.01)

C04B 35/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2012 PCT/IB2012/053484**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.01.2013 WO13005196**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2012 E 12750485 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.03.2018 EP 2729753**

54 Título: **Regenerador**

30 Prioridad:

07.07.2011 FR 1156188
15.03.2012 FR 1252371

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.05.2018

73 Titular/es:

**SAINT-GOBAIN CENTRE DE RECHERCHES ET
D'ETUDES EUROPÉEN (100.0%)**
Les Miroirs 18 Avenue d'Alsace
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es:

WATREMETZ, BENOÎT;
JACQUOT, CLAUDE;
SHERMAN, DANIEL C.;
NIKNAFS, HASSAN S.;
SZYMANSKI, THOMAS y
REID, JOHN STEWART

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 669 547 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

Regenerador

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un regenerador de almacenamiento térmico, y a una instalación térmica que comprende un regenerador del tipo mencionado.

10 **Antecedentes de la técnica**

El almacenamiento de energía, por ejemplo, energía generadora de calor, posibilita el escalonamiento de la producción y el consumo de esa energía en el tiempo.

15 El almacenamiento de energía generadora de calor resulta también útil para promover energías blandas, tales como la energía solar, las cuales son renovables pero cuya producción es intermitente. El almacenamiento de la energía también puede ser útil para aprovechar las diferencias del precio de la electricidad entre las horas denominadas "valle" durante las cuales las tarifas eléctricas son las más bajas, y las horas denominadas "punta" durante las cuales las tarifas son las más altas. Por ejemplo, en el caso del almacenamiento de energía por compresión de aire, generando energía generadora de calor que se almacena en un regenerador de calor, las fases de compresión que consumen electricidad se llevan a cabo, ventajosamente, con un coste menor durante las horas valle, mientras que las fases de expansión que producen electricidad se llevan a cabo durante las horas punta, con el fin de aportar electricidad que se puede inyectar en la red eléctrica, en función de la demanda, a una tarifa ventajosa.

25 La energía generadora de calor se almacena convencionalmente en un lecho compacto de elementos de almacenamiento de energía, o "medios", de un regenerador, por ejemplo, en un lecho compacto de bolas ("pebbles").

30 A la operación de almacenamiento, basada en un intercambio de calor entre una corriente de fluido generador de calor y el regenerador, se le denomina convencionalmente "carga", denominándose "fluido generador de calor de carga" al fluido generador de calor que entra en el generador en el momento de la carga.

35 La transferencia de energía generadora de calor puede dar como resultado un aumento de la temperatura de estos elementos de almacenamiento de energía (almacenamiento de calor "sensible") y/o un cambio de estado de estos elementos (almacenamiento de calor "latente").

40 A continuación, la energía generadora de calor almacenada se puede recuperar, mediante intercambio de calor entre una corriente de fluido caloportador y los elementos de almacenamiento de energía. Esta operación es denominada convencionalmente como "descarga", denominándose "fluido generador de calor de descarga" el fluido generador de calor que entra en el regenerador en el momento de la descarga.

45 "A review on packed bed solar energy storage systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010), págs. 1.059 a 1.069, describe el estado de la técnica en el campo de los regeneradores.

La patente US nº 4.651.810 describe un regenerador de un horno de fundición de vidrio, que comprende elementos de almacenamiento de energía obtenidos a partir de mineral de cromo. El documento DE 36 17 904 proporciona una composición para un mineral de cromo: entre un 1% y un 6% de SiO₂, entre un 0,3% y un 0,4% de CaO, entre un 13,6% y un 29,6% de Fe₂O₃ y entre un 8,7% y un 28,9% de Al₂O₃.

50 El documento WO 2004/063652 describe un ladrillo aislante para un horno industrial, realizado con un material que comprende un 50% de óxido de hierro.

55 Ninguno de estos dos documentos describe un regenerador que comprenda un lecho compacto de elementos de almacenamiento de energía realizados con un material que presente la característica: Fe₂O₃ + Al₂O₃ + CaO + TiO₂ + SiO₂ + Na₂O > 80%.

60 Cuando se hace funcionar un regenerador, y, en particular, cuando el fluido caloportador es aire húmedo, los condensados por la humedad del aire corroen los materiales del regenerador. Y lo que es más, a presiones elevadas, el agua presente en el aire se puede condensar, y se puede mezclar con los otros condensados o contaminantes que estén presentes. Así, estos últimos pueden convertir el agua en ácida y, por lo tanto, en corrosiva. El resultado de esto es una reducción considerable de la vida del regenerador, que debería ser mayor de 20 años, incluso mayor de 30 años en instalaciones industriales, y, por lo tanto, un incremento del coste total.

Existe, por tanto, una necesidad de incrementar la vida de los regeneradores, particularmente en relación con ataques corrosivos de ácido, en particular a temperaturas de funcionamiento mayores de 350°C, incluso mayores de 500°C, y, en particular, para regeneradores cargados con aire húmedo.

5 Una finalidad de la invención es cumplir, al menos parcialmente, este requisito.

Sumario de la invención

10 Esta finalidad se logra por medio de un regenerador, en particular, un regenerador de calor sensible, que comprende un lecho compacto de elementos de almacenamiento de energía realizados con un material sinterizado que presenta el siguiente análisis químico, en porcentajes en peso:

- 35% < Fe₂O₃ < 90%, preferentemente Fe₂O₃ < 70%, y
- 5% < Al₂O₃ < 30%, y
- 15 - CaO < 20%, y
- TiO₂ < 25%, y
- 3% < SiO₂ < 50%, y
- Na₂O < 10%, y
- Fe₂O₃ + Al₂O₃ + CaO + TiO₂ + SiO₂ + Na₂O > 80%,
- 20 y
- otros compuestos: complementar hasta el 100%.

En el contexto de la presente invención se ha apreciado que un regenerador de acuerdo con la invención presenta una eficiencia extraordinaria.

25 Sorprendentemente, en el contexto de la presente invención se ha apreciado asimismo que los elementos de almacenamiento de energía son particularmente resistentes al agua ácida, lo cual hace que los mismos resulten muy adecuados para las aplicaciones, según la invención, en las que se requiere que entren en contacto con líquidos ácidos.

30 Un regenerador de acuerdo con la invención también puede presentar una o más de las siguientes características opcionales:

- dicho material presenta un contenido de Fe₂O₃ preferentemente superior al 40%, incluso superior al 45%, incluso superior al 50%, y/o inferior al 85%, incluso inferior al 80%, incluso inferior al 75%, incluso inferior o
- 35 igual al 70%, incluso inferior al 65%, incluso inferior al 60%;
- dicho material presenta un contenido de Al₂O₃, preferentemente inferior al 25%, preferentemente inferior al 20%;
- en una de las formas de realización, en particular cuando dicho material se elabora a partir de una carga de
- 40 partida que comprende un lodo rojo, dicho material presenta un contenido de CaO preferentemente superior al 3%, incluso superior al 5%, incluso superior al 10%;
- en una de las formas de realización, dicho material presenta un contenido de CaO preferentemente inferior al 5%, incluso inferior al 3%, incluso inferior al 1%;
- en una de las formas de realización, dicho material presenta un contenido de TiO₂ preferentemente superior
- 45 al 5%, incluso superior al 10%, en particular cuando dicho material se elabora a partir de una carga de partida que comprende un lodo rojo y/o preferentemente inferior al 20%, preferentemente inferior al 15%;
- en una de las formas de realización, dicho material presenta un contenido de TiO₂ preferentemente inferior al 5%, incluso inferior al 3%, incluso inferior al 1%;
- dicho material presenta un contenido de SiO₂ preferentemente superior al 5%, incluso superior al 8%, y/o
- 50 inferior al 40%, incluso inferior al 30%, incluso inferior al 20%, incluso inferior al 15%;
- dicho material presenta un contenido de Na₂O preferentemente inferior al 5%;
- dicho material presenta Fe₂O₃ + Al₂O₃ + CaO + TiO₂ + SiO₂ + Na₂O preferentemente superior al 85%, incluso superior al 90%, incluso superior al 95%;
- dicho material presenta una suma del contenido en peso de Fe₂O₃, Al₂O₃ y SiO₂, Fe₂O₃ + Al₂O₃ + SiO₂, preferentemente superior al 50%, preferentemente superior al 60%, incluso superior al 70%, incluso superior al 75%, incluso superior al 80%, incluso superior al 85%;
- 55 - dicho material presenta una suma del contenido en peso de Fe₂O₃ y Al₂O₃, Fe₂O₃ + Al₂O₃, preferentemente superior al 40%, preferentemente superior al 50%, incluso superior al 60%, incluso superior al 70%, e incluso superior al 80%, incluso superior al 90%;
- 60 - dicho material presenta un contenido de Fe₂O₃, sobre la base de la suma del contenido en peso de Fe₂O₃, Al₂O₃ y SiO₂, Fe₂O₃ + Al₂O₃ + SiO₂, preferentemente superior al 45%, preferentemente superior al 50%, incluso superior al 60%, incluso superior al 70%, incluso superior al 80%, incluso superior al 90%;
- preferentemente, los "otros compuestos" consisten en más del 90%, preferentemente en más del 95%, de óxidos;
- 65 - preferentemente, MgO, K₂O, P₂O₅ y sus mezclas representan más del 90%, más del 95%, incluso sustancialmente el 100% de los otros compuestos;

- dicho material presenta una porosidad abierta superior al 0,5%, incluso superior al 1%, incluso superior al 5%, y/o inferior al 30%, preferentemente inferior al 25%, incluso inferior al 20%, incluso inferior al 15%, incluso inferior al 10%, incluso inferior al 6%.

5 Preferentemente, dicho material incorpora residuos de la producción de alúmina, especialmente por el método Bayer, describiéndose especialmente este método en "Les techniques de l'ingénieur" [Tecnología del ingeniero], en el artículo "métallurgie extractive de l'aluminium" [metalurgia extractiva del aluminio], referencia M2340, ediciones T.I., publicado el 10 de enero de 1992 (en particular, capítulo 6 comenzando en la página M2340-13 y la figura 7 en la página M2340-15).

10 Preferentemente, los elementos de almacenamiento de energía se obtienen sinterizando una preforma resultante de la conformación de una fase de carga de partida que comprende más del 10%, preferentemente más del 30%, preferentemente más del 50%, preferentemente más del 60%, preferentemente más del 70%, preferentemente más del 80% de lodo rojo, como porcentaje de material seco, obtenido a partir de la implementación de un método Bayer, como porcentaje en peso sobre la base de la carga de partida. Posiblemente, dicho lodo rojo se puede convertir antes de su uso, por ejemplo, en etapas de lavado y/o secado.

La invención se refiere también a una instalación térmica que comprende:

- 20 - una unidad que produce energía generadora de calor, por ejemplo un horno, una torre solar, un compresor, y
- un regenerador de acuerdo con la invención, y
- un dispositivo de circulación que garantiza, durante una fase de carga, la circulación de un fluido caloportador de carga desde la unidad que produce energía generadora de calor al regenerador, y a
- 25 continuación a través de dicho regenerador.

En una forma de realización, los elementos de almacenamiento de energía están en contacto, permanente o temporal, con un líquido ácido con un valor de pH inferior a 6, incluso inferior a 5,5, incluso inferior a 5, incluso inferior a 4,5, incluso inferior a 4, especialmente acuoso. De hecho, la invención resulta particularmente ventajosa en estas condiciones.

La temperatura del fluido caloportador que entra en el regenerador en el momento de la carga es, preferentemente, inferior a 1.000°C, incluso inferior a 800°C y/o preferentemente superior a 350°C, incluso superior a 500°C.

35 La instalación térmica puede ser, especialmente, una unidad que produce más de 50 kW, o más de 100 kW, incluso más de 300 kW, incluso más de 1 MW, incluso más de 5 MW de energía generadora de calor.

40 Preferentemente, el regenerador es un regenerador de calor sensible, lo cual significa que el material de los elementos de almacenamiento de energía y las temperaturas de carga y descarga se determinan de tal manera que los elementos de almacenamiento de energía permanecen sólidos durante el funcionamiento de la instalación térmica. De hecho, es en un regenerador de calor sensible donde las probabilidades de condensación del fluido caloportador son mayores.

45 Preferentemente, una instalación térmica de acuerdo con la invención comprende un consumidor de energía generadora de calor, garantizando dicho dispositivo de circulación, durante una fase de descarga, una circulación de un fluido caloportador de descarga a través de dicho regenerador, y a continuación desde dicho regenerador al consumidor de energía generadora de calor.

50 En una forma de realización, la unidad que produce energía generadora de calor comprende, o incluso consiste en, un compresor alimentado mecánica o eléctricamente por una planta incineradora o central eléctrica, en particular una central térmica, de energía solar, de energía eólica, de energía hidroeléctrica o de energía mareomotriz.

55 La unidad que produce energía generadora de calor y/o el consumidor de energía generadora de calor puede comprender un intercambiador de calor adecuado para garantizar un intercambio de calor, directo o indirecto, con el regenerador.

En una forma de realización, el dispositivo de circulación garantiza

- 60 - durante una fase de carga, la circulación de un fluido caloportador de carga desde la unidad que produce energía generadora de calor al regenerador, y a continuación a través de dicho regenerador, entrando dicho fluido caloportador de carga en dicho regenerador a una temperatura de carga T_c , y
- durante una fase de descarga, una circulación de un fluido caloportador de descarga a través de dicho regenerador, entrando el fluido caloportador de descarga en dicho regenerador a una temperatura de
- 65 descarga T_d , y

los elementos de almacenamiento de energía están realizados en un material que presenta un punto de fusión superior a $T_c + 50^\circ\text{C}$ e inferior a 2.000°C , siendo inferior o igual a $0,5 \text{ g/l}$ la concentración de todos los elementos lixiviados de dicho material como respuesta al ensayo descrito en la norma EN 12457-2 con fecha diciembre de 2002, y presentando dicho material de los elementos de almacenamiento de energía una relación característica A superior a $0,3$, con:

$$A = (C_p(T_c) - C_p(T_d)) / C_p(T_d)$$

en la que

- $C_p(T_c)$ es la capacidad de generación de calor de dicho material a la temperatura de carga, y
- $C_p(T_d)$ es la capacidad de generación de calor de dicho material a la temperatura de descarga.

Preferentemente, la relación característica es superior $0,35$, preferentemente superior a $0,40$, preferentemente superior a $0,45$, y/o es inferior a $0,60$.

Preferentemente, el material presenta un punto de fusión más de 100°C , más de 150°C , incluso más de 200°C superior a la temperatura de carga. Preferentemente, el material presenta un punto de fusión inferior a 1.950°C , inferior a 1.900°C , incluso inferior a 1.800°C , y/o una concentración de todos los elementos lixiviados de dicho material, medida de acuerdo con la norma EN 12457-2, inferior o igual a $0,1 \text{ g/l}$, preferentemente inferior o igual a $0,05 \text{ g/l}$.

Breve descripción de las figuras

Se pondrán también de manifiesto otros objetivos, aspectos, propiedades y ventajas de la presente invención, considerando la descripción y los ejemplos proporcionados a continuación, y estudiando los dibujos adjuntos en los cuales:

- la figura 1 representa curvas de la tendencia de la temperatura del fluido caloportador de carga a lo largo de su trayecto en un regenerador, en función de la longitud del regenerador. Se considera que estas curvas son sustancialmente idénticas a la temperatura de los elementos de almacenamiento de acuerdo con dicha longitud del regenerador. La curva C_i es la curva obtenida en el inicio de la carga, y la curva C_f es la curva obtenida al final de la carga. La longitud del regenerador, en metros, se proporciona en el eje x y la temperatura del fluido caloportador de carga, en este caso aire, en el eje y, en grados Kelvin;
- la figura 2 representa curvas de la tendencia de la temperatura del fluido caloportador de descarga a lo largo de su trayecto en un regenerador, de acuerdo con la longitud del regenerador. Se considera que estas curvas son sustancialmente idénticas a la temperatura de los elementos de almacenamiento de acuerdo con dicha longitud del regenerador. La curva D_i es la curva obtenida en el inicio de la descarga y la curva D_f es la curva obtenida al final de la descarga. La longitud del regenerador, en metros, se proporciona en el eje x y la temperatura del fluido caloportador de descarga, en este caso, aire, en el eje y, en grados Kelvin;
- las figuras 3a y 3b, 4a y 4b, 5a y 5b, representan, esquemáticamente, instalaciones térmicas de acuerdo con la invención;
- la figura 6 representa esquemáticamente un regenerador;
- las figuras 7a y 7b representan la tendencia de la temperatura de los elementos de almacenamiento realizados con un material de acuerdo con el ejemplo 1 y de acuerdo con el ejemplo 2, respectivamente, dispuestos en el eje del cilindro del regenerador, en funcionamiento de estado estacionario, de acuerdo con la posición sobre dicho eje ("posición axial"). La posición axial, en metros, se proporciona en el eje x, y la temperatura del fluido caloportador de carga y descarga, en este caso aire, en el eje y, en grados Kelvin.

Para las figuras 1 y 2, los cálculos se llevaron a cabo para un regenerador con una longitud de 30 m y un diámetro de 5 m , durando 10.800 segundos la fase de carga y la fase de descarga.

Las figuras 3a, 4a y 5a se corresponden con fases de carga. Las figuras 3b, 4b y 5b se corresponden con fases de descarga. Las tuberías a través de las cuales pasan fluidos se representan con una línea más gruesa. Las válvulas necesarias para modificar la circulación en los diferentes circuitos no se han representado.

En las diferentes figuras, se usan referencias idénticas para designar unidades idénticas o similares.

Definiciones

Debe considerarse que la expresión “unidad que produce energía generadora de calor” significa, no solamente las unidades que están diseñadas específicamente para generar energía generadora de calor, tales como una torre solar, sino también las unidades que, a través de su funcionamiento, generan energía generadora de calor, por ejemplo, un compresor.

La expresión “instalación térmica” también debe interpretarse en el sentido amplio, significando cualquier instalación que comprende una unidad que produce energía generadora de calor.

La expresión “consumidor de energía generadora de calor” designa un elemento capaz de recibir energía generadora de calor. Esto puede dar como resultado, particularmente, un aumento de la temperatura del consumidor (por ejemplo, en el caso de la calefacción de un edificio) y/o una conversión en energía mecánica (por ejemplo, en una turbina de gas).

En la presente descripción, en aras de la claridad, las expresiones “fluido caloportador de carga” y “fluido caloportador de descarga” se usan para indicar el fluido caloportador que circula en el regenerador durante la carga y durante la descarga, respectivamente. Se dice que el fluido caloportador de carga se ha “enfriado” cuando sale del regenerador. Se dice que el fluido caloportador de descarga se ha “recalentado” cuando sale del regenerador.

La expresión “lecho compacto” de elementos de almacenamiento de energía debe interpretarse de manera que significa un conjunto de dichos elementos superpuestos, al menos parcialmente, uno sobre otro.

El término “preforma” se usa convencionalmente para significar un conjunto de particulados unidos por medio de un aglomerante, en general temporal, y cuya microestructura cambiará durante la sinterización.

El término “sinterización” se usa para indicar un tratamiento térmico mediante el cual las partículas de una preforma se transforman para formar una matriz que une otras partículas de dicha preforma entre ellas.

Por motivos de claridad, la expresión “lodo rojo” se usa para indicar el subproducto líquido o pastoso que se deriva de un método de fabricación de alúmina y el producto secado correspondiente.

Contenido de óxido se refiere al contenido total para cada uno de los elementos químicos correspondientes, expresados en forma del óxido más estable, de acuerdo con la convención habitual de la industria.

A no ser que se indique lo contrario, todos los porcentajes son porcentajes en peso.

Debe interpretarse que las expresiones “que contiene un”, “que comprende un” y “que incluye un”, significan “que incluye por lo menos un”, a no ser que se indique lo contrario.

Descripción detallada

Una instalación térmica de acuerdo con la invención comprende una unidad que produce energía generadora de calor, un regenerador, un dispositivo de circulación. También puede comprender un consumidor de energía generadora de calor y/o una cavidad.

Unidad que produce energía generadora de calor

La unidad que produce energía generadora de calor se puede diseñar para producir energía generadora de calor, por ejemplo, un horno o una torre solar.

En una forma de realización, la unidad que produce energía generadora de calor comprende un compresor. La compresión de un fluido gaseoso, preferentemente adiabática, provoca que se almacene energía en el mismo incrementando su presión y su temperatura.

La energía resultante del aumento de presión se puede almacenar manteniendo el fluido a presión. La recuperación de esta energía puede dar como resultado una expansión, por ejemplo, en una turbina.

De acuerdo con la invención, la energía resultante del aumento de temperatura se almacena en un regenerador. La recuperación de esta energía da como resultado, entonces, un intercambio de calor con el regenerador.

La energía generadora de calor puede ser un subproducto de producción, es decir, puede no haberse buscado como tal.

Preferentemente, la unidad que produce energía generadora de calor produce más de 50 kW, incluso más de 100 kW de energía generadora de calor, incluso más de 300 kW, incluso más de 1 MW, incluso más de 5 MW. De hecho, la invención está destinada en particular a instalaciones industriales de alta potencia.

5 Consumidor de energía generadora de calor

El consumidor de energía generadora de calor puede ser un edificio o un conjunto de edificios, un depósito, una balsa, una turbina acoplada a un alternador para generar electricidad, una instalación industrial que consuma vapor, tal como, por ejemplo, una instalación de fabricación de pulpa de papel.

10 Regenerador

El regenerador se forma, convencionalmente, con un lecho compacto de elementos de almacenamiento de energía.

Un regenerador de acuerdo con la invención se puede fabricar siguiendo un método de acuerdo con la invención, que comprende las siguientes etapas:

- a) producir una carga de partida, que comprende opcionalmente un lodo rojo;
- b) conformar dicha carga de partida para obtener una preforma,
- c) opcionalmente, secar dicha preforma,
- d) sinterizar la preforma

- a una temperatura de entre 1.000°C y 1.500°C, preferentemente con un tiempo de permanencia a esta temperatura superior a 0,5 hora y preferentemente inferior a 12 horas, y
- preferentemente en una atmósfera oxidante, preferentemente al aire, excepto si la etapa a) incluye una operación de calcinación de lodo rojo, reduciéndose entonces, preferentemente, la atmósfera,

para obtener un elemento de almacenamiento de energía,

- e) después de la fabricación de una pluralidad de elementos de almacenamiento de energía de acuerdo con las etapas a) a d), agrupar entre sí dichos elementos de almacenamiento de energía para formar un lecho compacto de un regenerador.

Si la carga de partida comprende un lodo rojo, la etapa a) puede comprender las siguientes operaciones:

- a1) opcionalmente, secar dicho lodo rojo,
- a2) opcionalmente, triturar dicho lodo rojo secado, particularmente para disgregar cualquier aglomerado formado en el secado,
- a3) opcionalmente, adicionar un material de partida que contiene óxido de hierro al lodo rojo,
- a4) opcionalmente, calcinación a una temperatura de entre 900°C y 1.300°C, en una atmósfera reductora, y trituración.

Pueden implementarse todos los métodos de sinterización convencionales, siempre que la carga de partida sea adecuada para la fabricación de elementos de almacenamiento de energía adecuados para un regenerador de acuerdo con la invención.

En la etapa a), se prepara una carga de partida.

Preferentemente, la carga de partida comprende un lodo rojo, preparado preferentemente de acuerdo con un método que comprende las operaciones a1) a a4).

En la operación a1), opcional, dicho lodo rojo se seca a una temperatura preferentemente de entre 100°C y 500°C, preferentemente entre 200°C y 350°C. El tiempo de permanencia a esta temperatura está, preferentemente, entre 3 horas y 100 horas.

En la operación a2), opcional, el lodo rojo secado en la operación a1) se tritura para disgregar los aglomerados que pudieran haberse formado en la operación de secado a1). La trituración se puede realizar en un triturador, o en un desterronador.

En la operación a3), opcional, al lodo rojo se le puede adicionar un polvo de óxido de hierro, con el fin de incrementar la cantidad de óxido de hierro en la mezcla.

En la operación a4), opcional, la mezcla obtenida al final de la operación a2) o a3) se somete a una calcinación, a una temperatura de entre 900°C y 1.300°C, durante un tiempo de permanencia a esta temperatura superior a 0,5 hora, preferentemente superior a 1 hora y preferentemente inferior a 10 horas, incluso inferior a 5 horas, en

una atmósfera reductora. La mezcla calcinada se puede triturar con el fin de disgregar los aglomerados que pudieran haberse formado. La trituración se puede realizar, por ejemplo, en un molino de bolas o en un molino de rodillos.

- 5 Preferentemente, la carga de partida comprende más de un 10%, preferentemente más de un 30%, preferentemente más de un 50%, preferentemente más de un 60%, preferentemente más de un 70%, preferentemente más de un 80%, como porcentaje en peso sobre la base del material seco, de lodo rojo proveniente de la fabricación de alúmina por el método Bayer, como porcentaje en peso sobre la base del material seco. Preferentemente, el material seco del lodo rojo está en forma de un polvo de partículas, de las
- 10 cuales más del 70%, preferentemente más del 80%, preferentemente más del 90% en peso de dichas partículas tiene un tamaño inferior a 200 μm . También preferentemente, más del 50%, incluso más del 60% en peso de las partículas tiene un tamaño inferior a 10 μm .

Preferentemente, el material seco del lodo rojo presenta el siguiente análisis químico:

- 15
- 35% < Fe_2O_3 < 70%, preferentemente Fe_2O_3 < 65%, incluso Fe_2O_3 < 60%, preferentemente Fe_2O_3 > 40%, incluso Fe_2O_3 > 45%, incluso Fe_2O_3 > 50%, y
 - 5% < Al_2O_3 < 30%, preferentemente < 20%, y
 - CaO < 20%, y

20

 - TiO_2 < 25%, preferentemente < 20%, preferentemente < 15%, y
 - 3% < SiO_2 < 50%, preferentemente < 40%, preferentemente < 30%, preferentemente < 20%, preferentemente < 15%, y
 - Na_2O < 10%, incluso inferior al 5%, y
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{TiO}_2 + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$ > 80%, preferentemente > 85, incluso > 90%, incluso > 95%, y

25

 - Otros compuestos: complementar hasta el 100%.

Preferentemente, el material seco de la carga de partida consiste en más del 90%, preferentemente en más del 95%, preferentemente en más del 99%, de óxidos.

- 30 En una forma de realización, la carga de partida contiene un polvo que contiene más de un 90% en peso de sílice, preferentemente un polvo de humo de sílice. La cantidad de sílice en % en peso sobre la base de la carga de partida seca, sin los aditivos, es preferentemente superior al 2%, preferentemente superior al 3%, incluso superior al 5% e inferior al 10%.

- 35 En una forma de realización, la carga de partida contiene un polvo de silicato de alúmina, particularmente una arcilla y/o un caolín y/o una silimanita, que contiene, preferentemente, un contenido en peso de alúmina de entre el 25% y el 65%, preferentemente entre el 30% y el 65%, preferentemente un polvo de arcilla. La cantidad de polvo de silicato de alúmina, en particular de polvo de arcilla, en % en peso sobre la base de la carga de partida seca, es preferentemente superior al 5%, preferentemente superior al 10%, incluso superior al 15% e inferior al
- 40 40%, incluso inferior al 30%. Ventajosamente, la arcilla también se puede usar como aditivo conformador.

- En una forma de realización, la carga de partida comprende un polvo que comprende más del 70%, incluso más del 75% de óxido de hierro Fe_2O_3 . En una forma de realización, el complemento para Fe_2O_3 en dicho polvo consiste en Al_2O_3 , SiO_2 y, de manera opcional, preferentemente para menos del 10% en peso de dicho polvo, otros óxidos.
- 45

- En una forma de realización preferida, a la carga de partida se le adiciona un polvo, comprendiendo dicho polvo más del 70%, incluso más del 75% de óxido de hierro Fe_2O_3 y un polvo de silicato de alúmina, particularmente una arcilla y/o un caolín y/o una silimanita, que contiene preferentemente un contenido en peso de alúmina de entre el 25% y el 65%, preferentemente entre el 30% y el 65%, preferentemente un polvo de arcilla. La cantidad de polvo de silicato de alúmina, en particular de polvo de arcilla, como porcentaje en peso sobre la base de la carga de partida seca, es preferentemente superior al 5%, preferentemente superior al 10%, incluso superior al 15% e inferior al 40%, incluso inferior al 30%. Ventajosamente, la arcilla también se puede usar como aditivo conformador. En una forma de realización, la carga de partida consiste en una mezcla de dicho polvo que
- 50
- 55 comprende Fe_2O_3 y dicho polvo de silicato de alúmina.

- Los modelos de compactación de Andréasen o Fuller-Bolomey se pueden usar para adaptar la distribución granulométrica a la densidad aparente del elemento de almacenamiento de energía fabricado. Dichos modelos de compactación se describen particularmente en el trabajo titulado "Traité de céramiques et matériaux minéraux" [*Treatise on ceramics and mineral materials*], C. A. Jouenne, Ediciones Septima. París (1984), páginas 403 a 405.
- 60

La carga de partida también puede contener más de un 0,1% en peso de un aditivo de conformación.

- 65 El aditivo se puede seleccionar, en particular, del grupo consistente en:

- arcillas;
- plastificantes, tales como polietilen glicoles (o PEG) o alcohol polivinílico (o PVA);
- los aglomerantes, incluyendo los aglomerantes temporales orgánicos tales como resinas, lignosulfonatos, carboximetil celulosa o dextrina;
- los defloculantes, tales como polifosfatos de metales alcalinos, poliacrilatos de metales alcalinos, policarboxilatos; y
- mezclas de estos productos.

Preferentemente, el aditivo de conformación se selecciona del grupo consistente en arcillas, lignosulfatos, PVA, PEG y sus mezclas.

Preferentemente, el contenido de aditivo conformador es inferior a 6%, como porcentaje en peso sobre la base de la carga de partida, excepto con respecto a la arcilla.

La cantidad de agua depende de las siguientes etapas. En general, está comprendida entre 0 y 20%, como porcentaje en peso sobre la base de la carga de partida sin los aditivos.

En la etapa b), la conformación se puede realizar con diferentes técnicas, incluyendo prensado en frío, moldeo en barbotina, prensado de pasta plástica, granulación y extrusión.

En el caso de la conformación por prensado en frío, se prefiere una adición de una cantidad de agua de entre 1,5% y 4%, como porcentaje en peso sobre la base de la carga de partida sin los aditivos, particularmente si el lodo rojo se ha secado en una operación a1) y/o se ha calcinado en una operación a4). En el caso de una operación de conformación que conlleve extrusión, se prefiere una adición de una cantidad de agua de entre 10% y 20%, como porcentaje en peso sobre la base de la carga de partida sin los aditivos, particularmente si el lodo rojo se ha secado en una operación a1) y/o se ha calcinado en una operación a4). En una forma de realización, la cantidad de agua contenida en el lodo rojo usado en la etapa a) es suficiente para permitir una conformación, por ejemplo por extrusión, sin tener que adicionar una cantidad extra de agua.

En una etapa opcional c) se puede realizar un secado. Preferentemente, el secado se realiza a una temperatura de entre 100°C y 600°C, preferentemente entre 200°C y 350°C. El tiempo de permanencia a esta temperatura está, preferentemente, entre 3 horas y 100 horas.

En la etapa d), la preforma se sinteriza. Las condiciones de sinterización, y, en particular, la temperatura de sinterización, dependen de la composición de la carga de partida. Habitualmente, resulta claramente adecuada una temperatura de sinterización de entre 1.000 y 1.500°C, preferentemente de entre 1.100 y 1.300°C. Preferentemente, la sinterización se realiza en una atmósfera reductora si el método incluye una etapa a4). Si dicho método no incluye la etapa opcional a4), la sinterización se realiza preferentemente en una atmósfera oxidante, preferentemente al aire.

Al completarse la etapa d), se obtiene un elemento de almacenamiento de energía.

El elemento de almacenamiento de energía se puede someter a una operación de acabado en una etapa opcional, seleccionada particularmente de un amolado, aserrado, tratamiento superficial, taladrado, mecanizado, con el fin de adaptarlo a la geometría del regenerador. Estas operaciones se pueden realizar de acuerdo con todas las técnicas conocidas para un experto en la materia.

El método descrito anteriormente no es limitativo.

Las formas y las dimensiones de los elementos de almacenamiento de energía no son limitativas. No obstante, preferentemente, la dimensión más pequeña de un elemento de almacenamiento de energía es superior a 0,5 mm, incluso superior a 1 mm, incluso superior a 5 mm, incluso superior a 1 cm y/o preferentemente inferior a 50 cm, preferentemente inferior a 25 cm, preferentemente inferior a 20 cm, preferentemente inferior a 15 cm. Preferentemente, la dimensión más grande de un elemento de almacenamiento es inferior a 10 metros, preferentemente inferior a 5 metros, preferentemente inferior a 1 metro.

Los elementos de almacenamiento de energía pueden adoptar, particularmente, la forma de bolas y/o gránulos y/o ladrillos macizos y/o ladrillos huecos, y/o elementos cruciformes y/o elementos cruciformes dobles y/o elementos macizos y/o elementos huecos tales como los correspondientes que se describen en la patente US nº 6.889.963 y/o que se describen en la patente US nº 6.699.562.

En la etapa e), dichos elementos de almacenamiento de energía se agrupan conjuntamente para formar un lecho compacto.

El lecho compacto se puede organizar, por ejemplo, emparejando elementos de almacenamiento de energía, o puede estar desorganizado ("en masa"). Por ejemplo, el lecho compacto puede adoptar la forma de una masa de piezas trituradas (sin ninguna forma particular, como una masa de guijarros).

- 5 La altura del lecho compacto es, preferentemente, superior a 5 m, preferentemente superior a 15 m, preferentemente superior a 25 m, incluso superior a 35 m, incluso superior a 50 m.

El peso del lecho compacto es, preferentemente, superior a 700 T, preferentemente superior a 2.000 T, preferentemente superior a 4.000 T, preferentemente superior a 5.000 T, preferentemente superior a 7.000 T.

- 10 Preferentemente, los elementos de almacenamiento de energía se agrupan conjuntamente en una cámara que comprende una primera y una segunda aberturas destinadas a la introducción y extracción de un fluido caloportador en y de dicha cámara, respectivamente.

- 15 En una forma de realización, la abertura del regenerador a través de la cual entra el fluido caloportador de carga en el regenerador en una fase de carga, es aquella a través de la cual el fluido caloportador de descarga recalentado sale del regenerador en una fase de descarga. A la inversa, la abertura del regenerador a través de la cual el fluido caloportador de descarga que se va a recalentar entra en el regenerador en una fase de descarga es aquella a través de la cual el fluido caloportador de carga enfriado sale del regenerador en una fase de carga.

Preferentemente, la abertura del regenerador a través de la cual el fluido caloportador de descarga recalentado, destinado a un horno, sale del regenerador, está en la parte superior del regenerador.

25 **Dispositivo de circulación**

El dispositivo de circulación comprende, convencionalmente, un conjunto de tuberías, válvulas y bombas/ventiladores/extractores controlados de tal manera que pueden conectar selectivamente el regenerador

- 30 - a la unidad que produce energía generadora de calor de manera que puede recibir un fluido caloportador de carga que sale de dicha unidad, durante las fases de carga, y
 - al consumidor de energía generadora de calor de manera que el fluido caloportador de descarga recalentado que sale del regenerador puede recalentar dicho consumidor, o, de manera más general, transferir energía generadora de calor a dicho consumidor, durante las fases de descarga,

- 35 y de modo que puede forzar la circulación del fluido caloportador de carga y/o del fluido caloportador de descarga a través del regenerador.

40 **Fluidos caloportadores**

Los fluidos caloportadores de carga y descarga pueden ser o no de la misma naturaleza.

El fluido caloportador implementado para la carga y/o la descarga del regenerador puede ser un gas, por ejemplo aire, vapor, o un gas caloportador, o puede ser un líquido, por ejemplo, agua o un aceite térmico.

45 **Cavidad**

- 50 Preferentemente, en particular cuando los fluidos caloportadores de carga y descarga son de la misma naturaleza y cuando el fluido caloportador ha experimentado un aumento de la presión, tal como por compresión de aire, por ejemplo, a 50 bares, incluso 100 bares, la instalación térmica puede comprender una cámara, denominada "cavidad", para almacenar temporalmente el fluido caloportador de carga, enfriado al salir del regenerador. El volumen de la cavidad es, típicamente, superior a 20.000 m³, incluso superior a 100.000 m³.

- 55 Preferentemente, la cavidad es ligeramente permeable, o incluso estanca al fluido caloportador.

Preferentemente, la instalación térmica está configurada para poder funcionar de acuerdo con al menos algunas, preferentemente la totalidad, de las reglas que se describen a continuación.

60 **Funcionamiento**

- 65 Durante la carga, el fluido caloportador de carga entra en el regenerador a una temperatura de T_c, de manera preferente sustancialmente constante, en general a través de la parte superior del regenerador. Convencionalmente, en un funcionamiento en estado estacionario, la diferencia entre la temperatura de la transferencia térmica T_c y la temperatura de los elementos de almacenamiento de energía con los cuales, a

continuación, entra en contacto (T_1) es del 15% al 20% de T_c (o, aproximadamente, del 90° a 120°), y el fluido caloportador se enfría rápidamente a esta última temperatura.

5 Preferentemente, la temperatura T_c a la que el fluido caloportador de carga entra en el regenerador durante su carga es inferior a 1.000°C, incluso inferior a 800°C y/o preferentemente superior a 350°C, incluso superior a 500°C.

10 A continuación, el fluido caloportador de carga continúa su trayecto en el regenerador, recalentando los elementos de almacenamiento de energía con los cuales está en contacto. Por lo tanto, su temperatura cae progresivamente, tal como se representa en la curva C_i de la figura 1, hasta la temperatura T_{c_i}' .

Preferentemente, la temperatura T_{c_i}' a la que el fluido caloportador de carga sale del regenerador, en el inicio de la carga, está próxima a la temperatura de descarga del ciclo anterior.

15 La curva de la tendencia de la temperatura del fluido caloportador de carga a lo largo de su trayecto en el regenerador depende particularmente del material de los elementos de almacenamiento de energía y de la geometría del regenerador. Cambia a lo largo del tiempo durante la fase de carga, a través del recalentamiento de los elementos de almacenamiento de energía (desplazamiento de la curva C_i hacia la curva C_f).

20 En el funcionamiento de estado estacionario, las curvas C_i y C_f son sustancialmente idénticas de una fase de carga a la siguiente.

25 Cuando el fluido caloportador de carga es un gas, su enfriamiento puede conducir a una condensación sobre la superficie de los elementos de almacenamiento de energía, en particular en regeneradores de calor sensible.

30 A una temperatura elevada, tal como las correspondientes que se han previsto en particular anteriormente, los condensados pueden ser muy corrosivos. Tal como muestran los ejemplos más adelante, los elementos de almacenamiento de energía de un regenerador de acuerdo con la invención son ventajosamente muy buenos para resistir la corrosión por parte de estos condensados.

35 En la descarga, el fluido caloportador de descarga entra en el regenerador a la temperatura T_d que es, de manera preferente, sustancialmente constante, en general a través de la parte inferior del regenerador. Convencionalmente, en el funcionamiento de estado estacionario, la temperatura T_d es próxima a la temperatura de los elementos de almacenamiento de energía con los cuales entra en contacto (T_2) a continuación, y el fluido caloportador se recalienta rápidamente a esta última temperatura.

40 A continuación, el fluido caloportador continúa su trayecto en el regenerador, enfriando los elementos de almacenamiento de energía con los cuales está en contacto. Por lo tanto, su temperatura aumenta progresivamente, según se representa en la curva D_i de la figura 2, hasta la temperatura T_{d_i}' .

45 La curva de la tendencia de la temperatura del fluido caloportador de descarga a lo largo de su trayecto en el regenerador, también depende particularmente del material de los elementos de almacenamiento de energía y de la geometría del regenerador. Cambia a lo largo del tiempo debido al enfriamiento de los elementos de almacenamiento de energía (desplazamiento de la curva D_i hacia la curva D_r).

En el funcionamiento en estado estacionario, las curvas D_i y D_r son sustancialmente idénticas de una fase de descarga a la siguiente.

50 Por lo tanto, el regenerador experimenta una sucesión de "ciclos", comprendiendo cada ciclo una fase de carga, posiblemente una fase de espera, y a continuación una fase de descarga.

El ciclo puede ser regular o irregular. Preferentemente es regular, siendo la duración de las primeras fases idéntica a la correspondiente de las segundas fases.

55 La duración de un ciclo regular es, en general, superior a 0,5 hora, incluso superior a dos horas y/o inferior a 48 horas, incluso inferior a 24 horas.

Formas de realización particulares

60 Las figuras 3a y 3b, 4a y 4b, 5a y 5b representan diferentes formas de realización ventajosas. En todas estas formas de realización, una instalación térmica 10 de acuerdo con la invención comprende una unidad productora de energía generadora de calor 12, un regenerador 14, un consumidor de energía generadora de calor 16 y un dispositivo de circulación 18. También puede comprender una cavidad 20, natural o artificial.

65 El dispositivo de circulación 18 comprende un circuito de carga 22 y un circuito de descarga 24 a través de los cuales circulan, respectivamente, un fluido caloportador de carga y un fluido caloportador de descarga. Estos

circuitos de carga 22 y de descarga 24 posibilitan la creación de una conexión de intercambio de calor entre la unidad productora de energía generadora de calor 12 y el regenerador 14 durante la fase de carga, y entre el regenerador 14 y el consumidor de energía generadora de calor 16 durante la fase de descarga, respectivamente.

Las figuras 3a y 3b representan una primera forma de realización particular en la cual el consumidor de energía generadora de calor 16 comprende un intercambiador de calor 26 adecuado para garantizar un intercambio de calor entre fluido caloportador de descarga que se origina en el regenerador 14 (Figura 3b) y un fluido caloportador secundario que circula en un circuito secundario 28. El circuito secundario 28 está configurado para permitir una conexión de intercambio de calor del intercambiador de calor 26 a, por ejemplo, un edificio 30.

La instalación térmica 10 comprende también un circuito calefactor directo 32 que permite una conexión de intercambio de calor directo desde la unidad productora de energía generadora de calor 12, por ejemplo, una torre solar, y el consumidor de energía generadora de calor 16 durante la fase de carga (Figura 3a).

En esta forma de realización, el regenerador 14 está preferentemente próximo a la unidad productora de energía generadora de calor, por ejemplo a menos de 500 metros, incluso a menos de 250 metros con respecto a esta unidad.

Las figuras 4a y 4b representan una segunda forma de realización particular en la que la unidad productora de energía generadora de calor 12 comprende un compresor 34 accionado por la energía, por ejemplo, mecánica o eléctrica, producida por un grupo generador 36.

Por tanto, el fluido caloportador de carga, convencionalmente aire, se comprime y se recalienta mediante su paso a través del compresor 34 antes de llegar, por medio del circuito de carga 22, al regenerador 14.

No es necesario que el regenerador esté próximo a la instalación que genera la electricidad requerida para la compresión del aire o al compresor 34.

A la salida del regenerador, el fluido caloportador de carga, enfriado, comprimido, se almacena en la cavidad 20.

Durante la descarga, el fluido caloportador de descarga comprimido (es decir, el fluido caloportador de carga que se almacenó en la cavidad) sale de la cavidad 20, se recalienta a través del regenerador y, a continuación, pasa a través de una turbina de gas 38. La turbina de gas 38 puede accionar un alternador (no representado) para generar electricidad, por ejemplo, enviada a la red eléctrica doméstica.

El recalentamiento permite que el fluido caloportador de descarga acumule en su interior energía generadora de calor. Esta energía, recuperada en la expansión, hace que mejore la eficiencia de la turbina 38.

Por lo tanto, la turbina 38 actúa, simultáneamente, como consumidor de energía generadora de calor (reduciendo la temperatura) y como consumidor de energía mecánica (reduciendo la presión).

La forma de realización de las figuras 4a y 4b resulta particularmente muy adecuada para instalaciones que no están diseñadas para generar energía generadora de calor, tales como una fábrica de turbinas eólicas o una central eléctrica del tipo hidroeléctrico o mareomotriz.

A una instalación de este tipo se le denomina convencionalmente "instalación de almacenamiento de energía de compresión adiabática". El documento FR 2 947 015 describe una instalación de este tipo.

Las figuras 5a y 5b representan una variante de la segunda forma de realización particular. La instalación térmica 10 comprende, además de los elementos de la segunda forma de realización, un segundo regenerador 14' y,

- en un segundo circuito de carga 22' del segundo regenerador 14', aguas arriba del segundo regenerador 14' (siguiendo la dirección de flujo del fluido caloportador de carga), un segundo compresor 34' y,
- en un segundo circuito de descarga 24', aguas abajo del segundo regenerador 14' (siguiendo la dirección de flujo del fluido caloportador de descarga), una segunda turbina de gas 38'.

El segundo regenerador 14', el segundo circuito de carga 22', el segundo circuito de carga 24', el segundo compresor 34', y la segunda turbina de gas 38' funcionan como el regenerador 14, el circuito de carga 22, el circuito de descarga 24, el compresor 34 y la turbina de gas 38. Con el regenerador 14, que actúa como unidad productora de energía generadora de calor, constituyen una instalación térmica de acuerdo con la invención.

Preferentemente, el compresor 34 es un compresor de presión media y el compresor 34' es un compresor de alta presión.

De este modo, pueden disponerse en serie varias instalaciones térmicas de acuerdo con la invención.

La figura 6 representa un ejemplo de un regenerador 14. Este regenerador comprende un lecho compacto de elementos de almacenamiento de energía 40, una abertura superior 42 y una abertura inferior 44 a través de las cuales entran en el regenerador, respectivamente, los fluidos caloportadores de carga y descarga. Los fluidos caloportadores de carga y descarga salen del regenerador 14 a través, respectivamente, de las aberturas inferior 42 y superior 44.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos son proporcionados a título ilustrativo y no limitativo.

La forma de los elementos de almacenamiento de energía es similar para los ejemplos 1, 2, 3 y 4.

Los elementos de almacenamiento de energía de acuerdo con el ejemplo 2 se han producido de la manera siguiente.

En la etapa a), la carga de partida consiste totalmente en un lodo rojo, que presenta el siguiente análisis químico, sobre la base del material seco de dicho lodo rojo: $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 55\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16\%$, $\text{CaO} = 5\%$, $\text{TiO}_2 = 11\%$, $\text{SiO}_2 = 8\%$, $\text{Na}_2\text{O} = 4\%$, otros = 1%, y del cual más del 60% en peso de las partículas tiene un tamaño inferior a 10 μm . Dicha carga de partida no contiene ningún aditivo.

La conformación de dicha carga de partida, con el fin de obtener preformas con una longitud igual a 11 mm y un diámetro igual a 16 mm, se produce mediante prensado uniaxial a una presión de 125 MPa.

A continuación, las preformas se secan durante 12 horas a 120°C.

Las preformas se sinterizan, a continuación, al aire, en el siguiente ciclo:

- subir hasta 1.200°C a una velocidad de 100°C/h,
- mantener durante 3 horas a 1.200°C,
- bajar a una velocidad de 100°C/h.

Los elementos de almacenamiento de energía de acuerdo con el ejemplo 3, respectivamente de acuerdo con el ejemplo 4, se han producido de la manera siguiente.

En la etapa a), la carga de partida consiste totalmente en un 20%, respectivamente un 40%, en peso de un polvo de arcilla que tiene un contenido de Al_2O_3 igual a un 27%, un contenido de SiO_2 igual a un 65% y un 8% otros compuestos, y en un 80%, respectivamente un 60%, en peso de un polvo de óxido de hierro que tiene un contenido de Fe_2O_3 igual a un 78,7%, un contenido de SiO_2 igual a un 9%, un contenido de Al_2O_3 igual a un 2,9%, y un contenido de MgO igual a un 1,1%. Dicha carga de partida no contiene ningún aditivo.

La conformación de dicha carga de partida, con el fin de obtener preformas con una longitud igual a 11 mm y un diámetro igual a 16 mm, se realiza por prensado uniaxial a una presión de 125 MPa.

A continuación, las preformas se secan durante 12 horas a 120°C.

Las preformas se sinterizan, a continuación, al aire, en el siguiente ciclo:

- subir hasta 1.200°C a una velocidad de 100°C/h,
- mantener durante 3 horas a 1.200°C,
- bajar a una velocidad de 100°C/h.

La densidad aparente y la porosidad abierta se han medido de acuerdo con la norma ISO5017, después de la sinterización para los ejemplos 2, 3 y 4. Los análisis químicos se han llevado a cabo mediante fluorescencia de rayos X.

La resistencia al agua ácida se ha medido con el siguiente método:

El producto que se va a someter a ensayo se tritura, y la fracción de entre 0,3 mm y 1 mm se conserva para análisis. 3 gramos de esta fracción granulométrica se introducen en un recipiente de Teflón con una capacidad de 180 ml que contiene 100 ml de agua ionizada, cuya resistencia es superior a 16 M ohmios, acidificada a un pH 3 con ácido sulfúrico.

El recipiente se sella herméticamente con tapas de rosca y se coloca en un bloque calefactor de temperatura regulada a 110°C, durante 24 horas.

A continuación, el recipiente se retira del bloque calefactor y se enfría en el aire ambiente.

La solución acuosa se recoge, y se separa a través de un filtro de membrana realizado con acetato de celulosa que tiene poros con un diámetro igual a 0,1 µm. El contenido de elementos lixiviados en esta solución, expresado en forma de óxido y en mg/l, se analiza por espectrometría con antorcha de plasma, o ICP que significa "Plasma de Acoplamiento Inductivo". De este modo, para los inventores, cuanto menor sea la cantidad total de elementos encontrados en la solución ácida, mayor será la resistencia del producto sometido a ensayo al agua ácida.

Se usaron las siguientes suposiciones para llevar a cabo los cálculos de la energía generadora de calor recuperada por el regenerador y la temperatura del aire al final de la descarga en la salida del regenerador:

- modelo unidimensional:

- flujo térmico y transferencia térmica por convección forzada en el medio poroso, considerándose la fracción hueca igual al 40%, e ignorando el efecto de la gravedad,
- temperatura y velocidad del fluido constantes en una sección del regenerador,
- se ignoran las pérdidas de calor y la influencia de la pared sobre el flujo,
- distribución uniforme de la temperatura y del flujo de fluido en la cara superior (en el momento de la carga) y en la cara inferior (en el momento de la descarga) del regenerador,

- regenerador cilíndrico, de sección constante, con un diámetro igual a 5 m y una longitud L igual a 20 m,
- fluido caloportador: aire seco,
- volumen constante de elementos de almacenamiento,
- sin pérdidas de calor radial,
- temperatura de carga 800°C, o 1.073 K,
- temperatura de descarga 400°C, o 673 K,
- presión interna igual a 20 bares,
- en la carga y en la descarga, el caudal de fluido es constante e igual a 35 kg/s,
- durante de la carga: 4 horas,
- durante de la descarga: 4 horas.

La siguiente fórmula proporciona la cantidad de energía generadora de calor recuperada por el regenerador:

$$\int_0^L \int_{T_f}^{T_i} \rho \cdot S \cdot C_p(T) \cdot dT \cdot dx$$

En esta fórmula:

Ti: temperatura de inicio de carga en la sección de anchura dx, situada en la posición axial x, en grados Kelvin,
 Tf: temperatura de fin de descarga en la sección de anchura dx, situada en la posición axial x, en grados Kelvin,
 ρ: densidad aparente del lecho compacto, en kg/m³,
 S: sección circular del regenerador en m²,
 L: longitud del regenerador en m,
 Cp(T): capacidad generadora de calor del material de almacenamiento a la temperatura T.

En la siguiente Tabla 1 se proporcionan los análisis llevados a cabo sobre los elementos de almacenamiento y los resultados de los cálculos:

	Ejemplo 1: Elementos de almacenamiento de granito (no de la invención)	Ejemplo 2: Elementos de almacenamiento realizados con un producto según la invención	Ejemplo 3: Elementos de almacenamiento realizados con un producto según la invención	Ejemplo 4: Elementos de almacenamiento realizados con un producto según la invención
Análisis químico de los elementos de almacenamiento del regenerador				
% óxido de hierro expresado en la forma Fe ₂ O ₃	4	55	61,3	48
% Al ₂ O ₃	8	16	6,7	11
% CaO	5	5	0,7	0,8
% TiO ₂	-	11	0,5	0,5
% SiO ₂	70	8	28,8	36
% Na ₂ O	2	4	-	1,4

% otros compuestos	11	1	2	2,3
Otras características de los elementos de almacenamiento del regenerador				
Densidad aparente del material de los elementos de almacenamiento (g/cm^3)	2,6	3,3	3,5	3
Porosidad abierta (%)	2	21	0,6	1
Cp a 25°C ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)	800	700	900	875
Resultados				
Energía generadora de calor recuperada por el regenerador (GJ)	222	225	226	222
Temperatura del aire al final de la descarga, en la salida del regenerador (°C)	657	711	734	712
Resistencia al agua ácida a 110°C durante 24 horas: concentración total de elementos lixiviados, expresados en una forma de óxido (mg/l)	19,85	4,40	4,51	4,34

Tabla 1

5 Tal como muestran los resultados indicados en la tabla 1, después de un contacto a 110°C, durante 24 horas, con agua ácida con un pH igual a 3, la cantidad total de elementos lixiviados medida en dicha agua ácida es inferior para los elementos de almacenamiento de energía de los ejemplos 2, 3 y 4 según la invención. La resistencia al agua ácida, de los elementos de almacenamiento de energía de los ejemplos 2, 3 y 4 según la invención, es superior a la correspondiente de los elementos de almacenamiento de energía del ejemplo 1 que no pertenece a la invención. Por tanto, la vida de un regenerador que contenga elementos de almacenamiento de energía de los ejemplos 2, 3 y 4 según la invención mejorará en un entorno ácido.

15 Por otra parte, la eficiencia de un regenerador depende íntimamente de su geometría y del material de los elementos de almacenamiento de energía implementados para acumular y recuperar la energía generadora de calor. Los inventores han observado que un regenerador de acuerdo con la invención posibilita la obtención de una temperatura del fluido caloportador en la salida del regenerador durante la descarga, para el mismo volumen de elementos de almacenamiento de energía, que es superior a la correspondiente que se puede obtener con un regenerador no perteneciente a la invención.

20 De hecho, la tabla 1 muestra que el regenerador que contiene elementos de almacenamiento de energía del ejemplo 2, 3 o 4 según la invención, presenta una temperatura de fin de descarga igual a 711°C, 734°C y 712°C, respectivamente, mayor que la temperatura de fin de descarga del regenerador que contiene elementos de almacenamiento del ejemplo 1 que no es de la invención (657°C). Por lo tanto, los niveles de rendimiento de una turbina impulsada por aire en la salida del regenerador que contiene elementos de almacenamiento del ejemplo 2, 3 o 4 de acuerdo con la invención, son superiores a los correspondientes de un regenerador que contiene elementos de almacenamiento del ejemplo 1.

25 Esta ventaja es todavía mayor en la medida en la que las regulaciones medioambientales y el deseo de controlar los costes están empujando constantemente las industrias para encontrar un mayor ahorro energético.

30 Evidentemente, la presente invención no se limita a las formas de realización descritas y representadas, que son proporcionadas a título de ejemplo. En particular, las combinaciones de las diferentes formas de realización descritas o representadas están asimismo comprendidas en el contexto de la invención.

35 La invención tampoco resulta limitada por la forma o las dimensiones del regenerador.

Finalmente, los elementos de almacenamiento de energía pueden estar en contacto con un entorno neutro o básico.

REIVINDICACIONES

1. Regenerador que comprende un lecho compacto de elementos de almacenamiento de energía realizados en un material sinterizado que presenta el análisis químico siguiente, como porcentajes en peso:
- $35\% < \text{Fe}_2\text{O}_3 < 90\%$, y
 - $5\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 30\%$, y
 - $\text{CaO} < 20\%$, y
 - $\text{TiO}_2 < 25\%$, y
 - $3\% < \text{SiO}_2 < 50\%$, y
 - $\text{Na}_2\text{O} < 10\%$, y
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{TiO}_2 + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} > 80\%$, y
 - otros compuestos: complemento hasta 100%.
2. Regenerador según la reivindicación anterior, en el que dicho material presenta el análisis químico siguiente, como porcentajes en peso:
- $35\% < \text{Fe}_2\text{O}_3 < 70\%$, y
 - $5\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 30\%$, y
 - $\text{CaO} < 20\%$, y
 - $\text{TiO}_2 < 25\%$, y
 - $3\% < \text{SiO}_2 < 50\%$, y
 - $\text{Na}_2\text{O} < 10\%$, y
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{TiO}_2 + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} > 80\%$, y
 - otros compuestos: complemento hasta 100%.
3. Regenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material presenta un contenido de óxido de hierro expresado en forma de Fe_2O_3 , superior a 40%, como un porcentaje en peso.
4. Regenerador según la reivindicación anterior, en el que dicho material presenta un contenido de óxido de hierro expresado en la forma Fe_2O_3 , superior a 50%, como un porcentaje en peso.
5. Regenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material presenta un contenido de Al_2O_3 inferior a 25%, como un porcentaje en peso.
6. Regenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material presenta un contenido de CaO superior a 3%, como un porcentaje en peso.
7. Regenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material presenta un contenido de SiO_2 inferior a 40%, como un porcentaje en peso.
8. Regenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material presenta un contenido de Na_2O inferior a 5%, como un porcentaje en peso.
9. Regenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material presenta, en porcentajes en peso, un contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{TiO}_2 + \text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} > 85\%$, y/o un contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 > 50\%$, y/o un contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 > 40\%$, y/o un contenido de $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 45\%$, sobre la base de la suma $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$.
10. Regenerador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos de almacenamiento de energía se obtienen mediante sinterización de una preforma resultante de la conformación de una carga de partida que comprende más de 10% de lodo rojo a partir de la producción de alúmina por el método Bayer, en porcentaje en peso sobre la base del material seco de la carga de partida, o se obtienen mediante la sinterización de una preforma resultante de la conformación de una carga de partida que consiste en una mezcla de un polvo que comprende más de 70% de óxido de hierro Fe_2O_3 y un polvo de silicato de alúmina.
11. Regenerador según la reivindicación anterior, en el que dicha carga de partida comprende más de 50% de lodo rojo, como un porcentaje en peso sobre la base del material seco de la carga de partida.
12. Instalación térmica que comprende una unidad que produce energía generadora de calor (12) y un regenerador (14; 14') según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, asegurando un fluido caloportador un intercambio de calor entre dicha unidad y dicho regenerador.
13. Instalación térmica según la reivindicación anterior, en la que el fluido caloportador de dicha unidad que produce energía generadora de calor (12) se condensa en dicho regenerador (14; 14') en forma de un líquido

ácido, y/o en la que la temperatura del fluido caloportador de dicha unidad que entra en el regenerador es inferior a 1.000°C y superior a 350°C.

14. Instalación térmica según cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, que comprende

5

- un consumidor de energía generadora de calor (16), y
- un dispositivo de circulación (18) que garantiza

10

- durante una fase de carga, la circulación de un fluido caloportador de carga desde la unidad que produce energía generadora de calor al regenerador, a continuación a través de dicho regenerador, y
- durante una fase de descarga, una circulación de un fluido caloportador de descarga a través de dicho regenerador a continuación desde dicho regenerador al consumidor de energía generadora de calor.

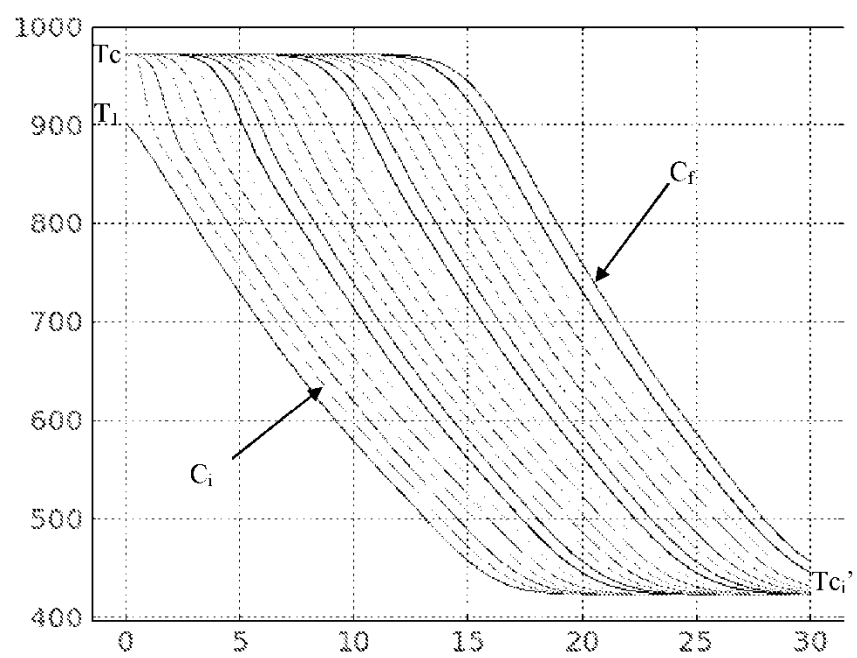


Fig. 1

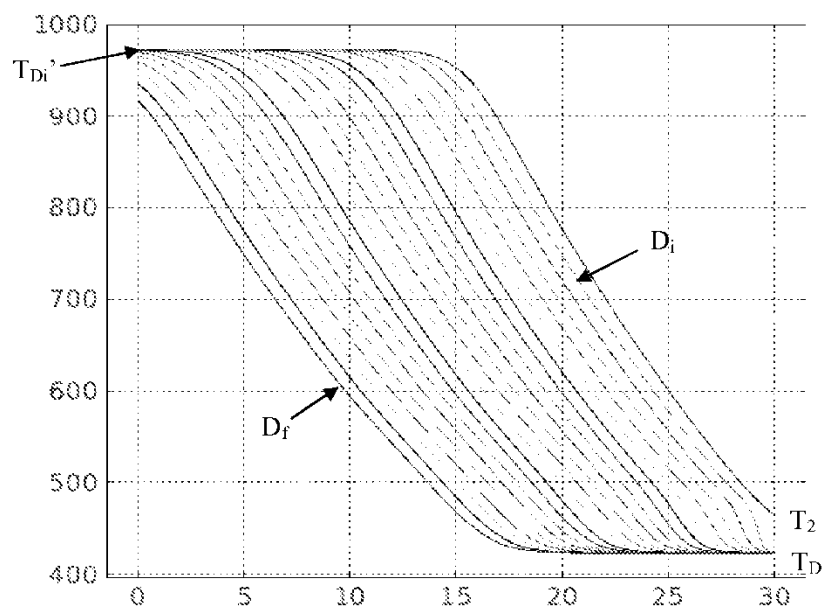


Fig. 2

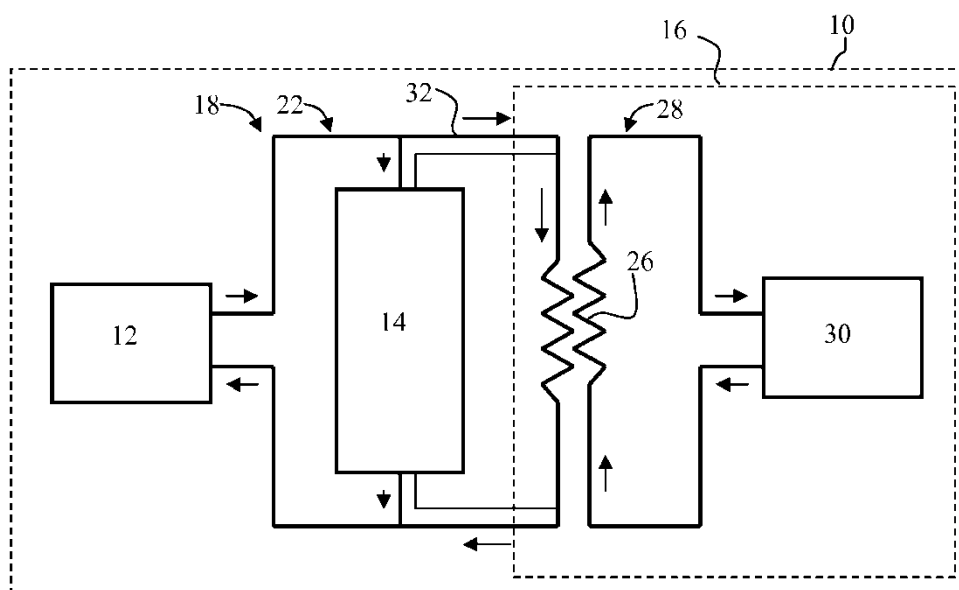


Fig. 3a

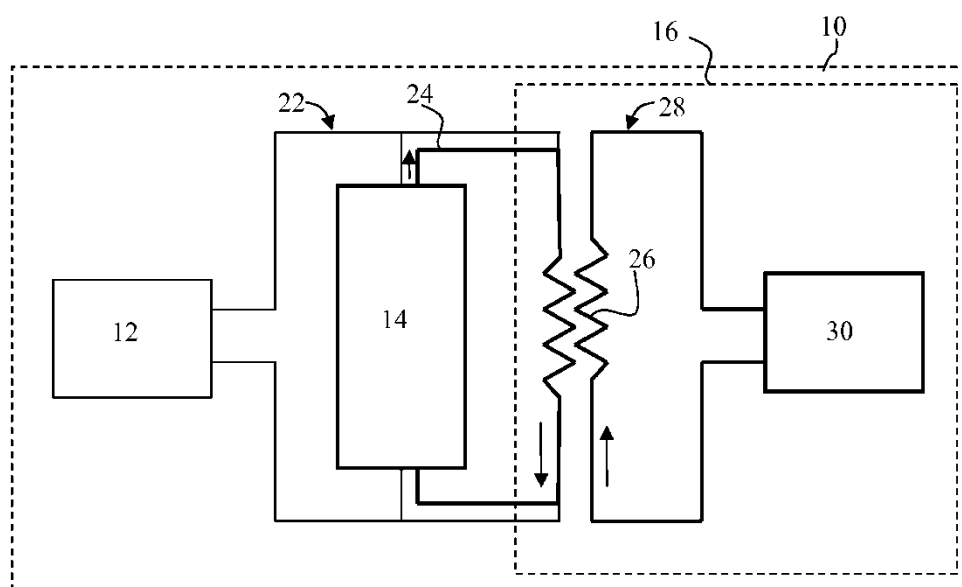


Fig. 3b

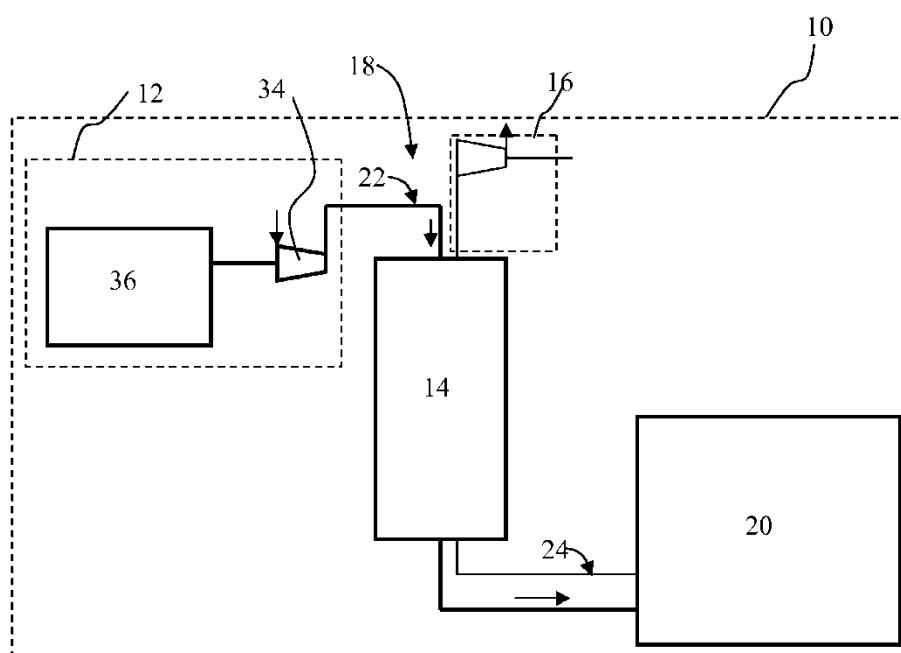


Fig. 4a

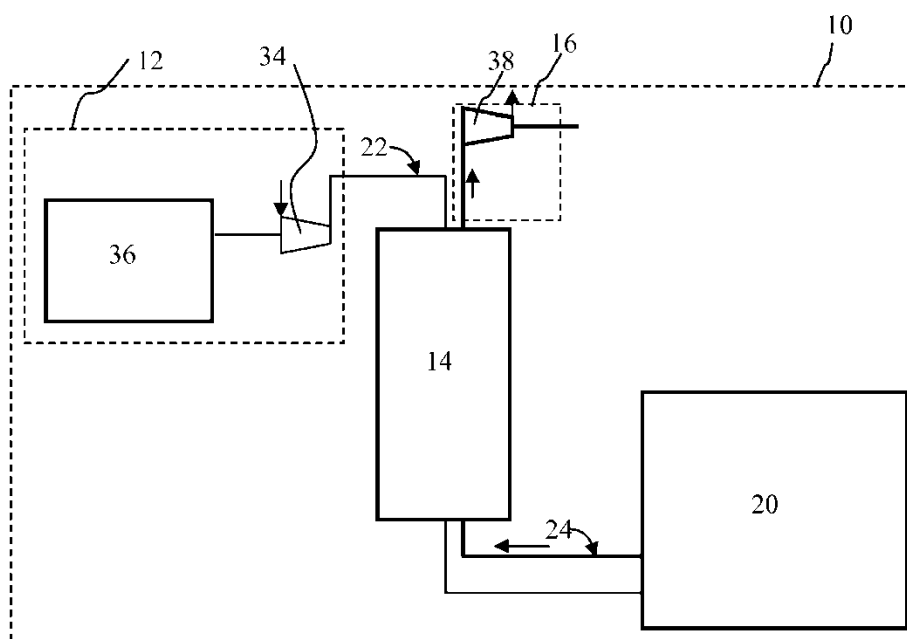


Fig. 4b

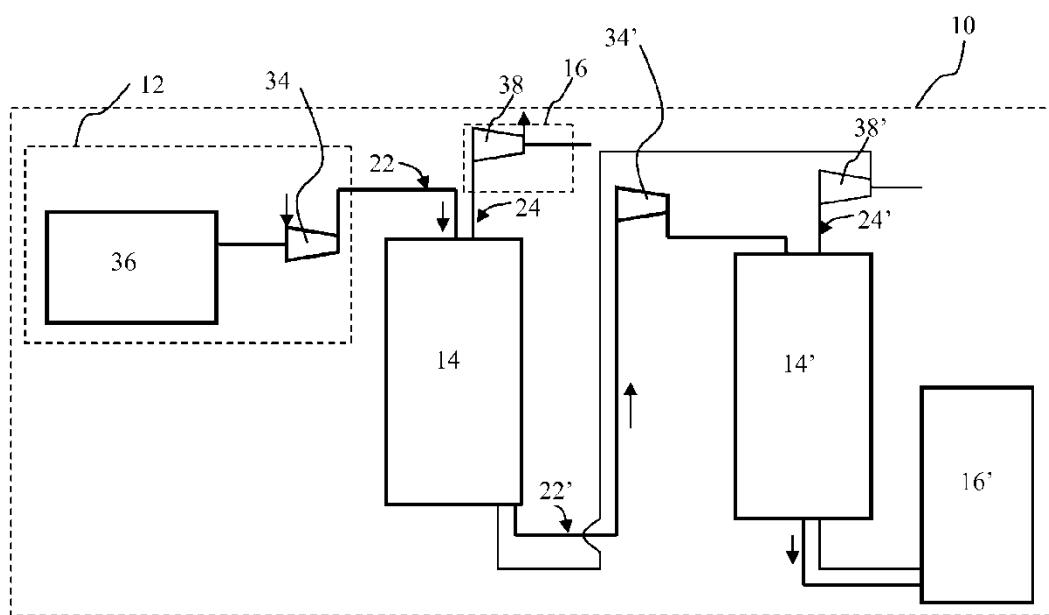


Fig. 5a

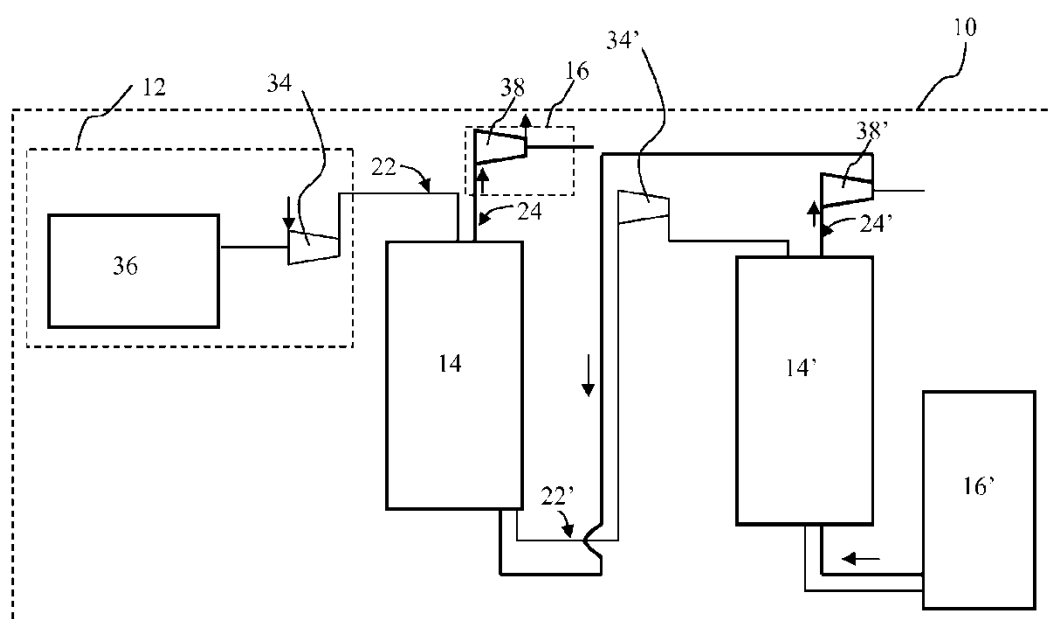


Fig. 5b

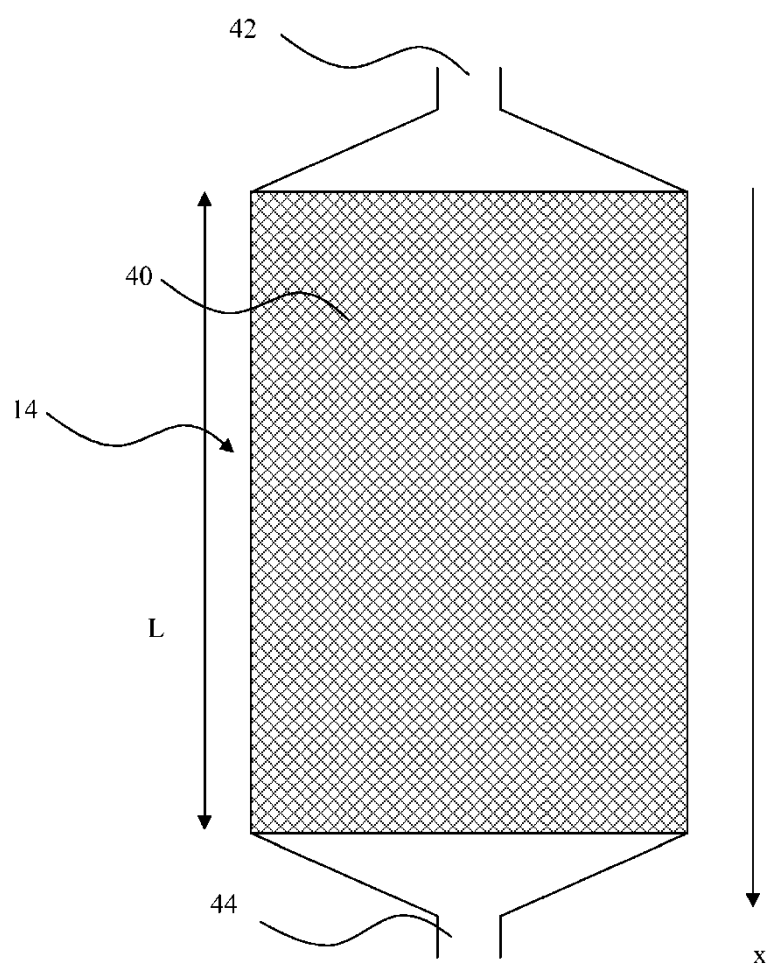


Fig. 6

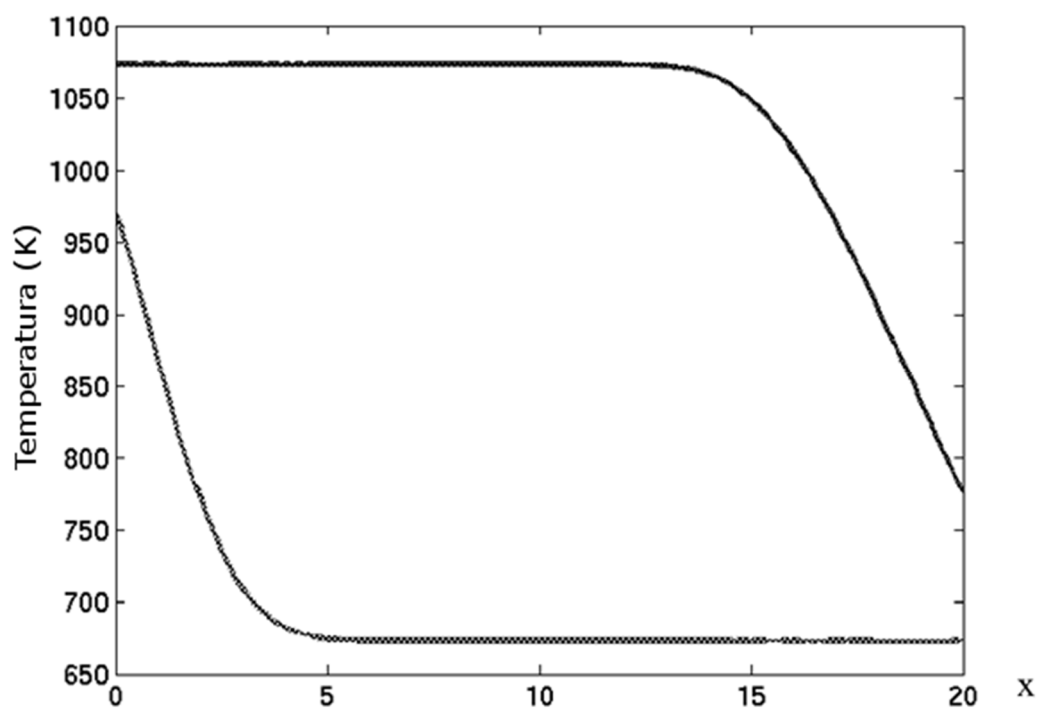


Fig. 7a

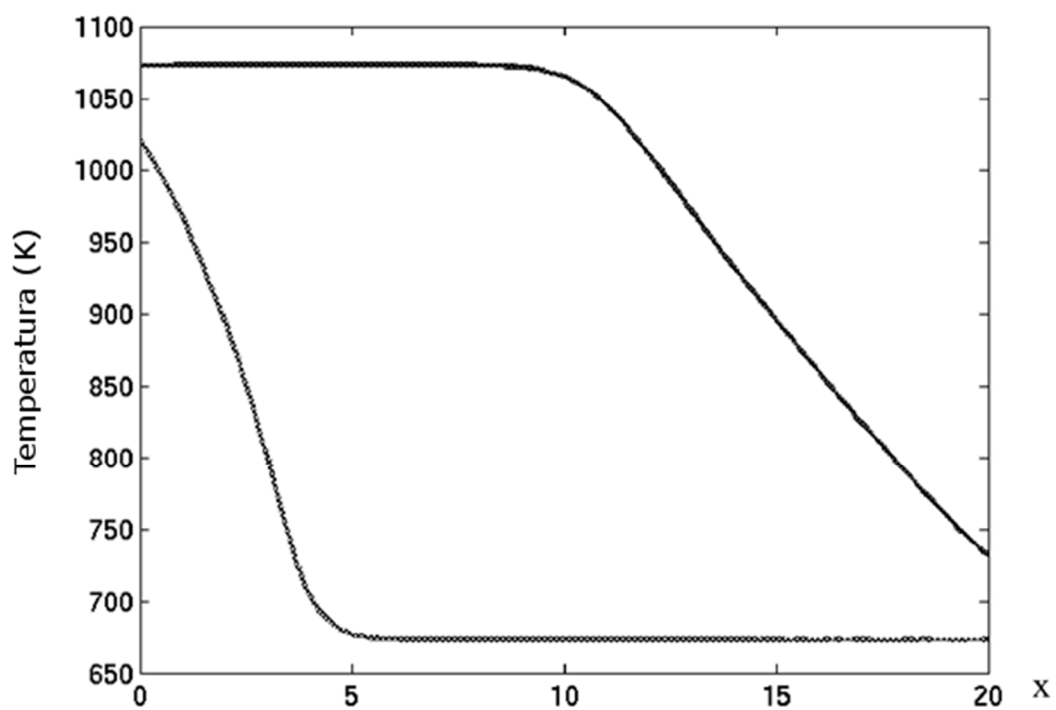


Fig. 7b