

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 828 525**

51 Int. Cl.:

F28D 20/00 (2006.01)

F28D 20/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.12.2013 PCT/ES2013/070889**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.07.2014 WO14102418**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2013 E 13868352 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2020 EP 2942591**

54 Título: **Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y material de cambio de fase**

30 Prioridad:

27.12.2012 ES 201232038 P

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

26.05.2021

73 Titular/es:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(100.0%)**

**C/ Jordi Girona 31, Til·lers planta 1
08034 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**OLIVA LLENA, ASENSI;
PÉREZ SEGARRA, CARLOS DAVID;
RIGOLA SERRANO, JOAQUIM;
CASTRO GONZÁLEZ, JESÚS;
OLIET CASASAYAS, CARLES;
RODRÍGUEZ PÉREZ, IVETTE;
LEHMKUHL BARBA, ORIOL;
TRIAS MIQUEL, XAVI;
CAPDEVILA PARAMIO, ROSER;
ALBA QUEIPO, RAMIRO;
ORDOÑO MARTÍNEZ, MANUEL MIGUEL y
GALIONE KLOT, PEDRO ANDRÉS**

74 Agente/Representante:

TORNER LASALLE, Elisabet

ES 2 828 525 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

Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y material de cambio de fase

Objeto de la Invención

- 5 La presente invención describe un sistema de almacenamiento y recuperación de energía térmica, haciendo uso de la capacidad del material sólido para contener energía térmica en forma de calor sensible y de la capacidad del material de cambio de fase para contener energía térmica tanto en forma de calor sensible como latente de cambio de fase. La invención que se describe en este documento aprovecha el calor proveniente de una fuente externa o el calor residual de un proceso, cargando un dispositivo (tanque) de energía térmica durante un periodo de tiempo establecido y descargando este dispositivo (tanque) en un período posterior en el que la fuente de energía no está disponible (o no es suficiente), suministrando de manera continua energía térmica a un sistema externo. Uno de los propósitos de la invención es minimizar el tamaño del tanque de almacenamiento sin perjudicar la eficacia del mismo.

Estado de la técnica

- 15 El aprovechamiento de la energía térmica proveniente de una fuente externa (e.g., la radiación solar, el calor residual de un proceso de fabricación, etc.) para la generación de energía eléctrica o simplemente el uso de esta en un proceso (e.g., generación de vapor, calentamiento de agua, etc.) se ha convertido desde hace un par de décadas en un campo importante de estudio, debido a la necesidad de conseguir procesos de transformación de energía con menor dependencia de recursos no renovables tales como los combustibles fósiles.
- 20 Los mecanismos de obtención de energía térmica presentan la limitación que son generalmente procesos no continuos. Estos procesos solo ocurren durante un número específico de horas al día, frente a una demanda que generalmente es continua o simplemente está desfasada en el tiempo. Es por ello que se ha de emplear algún medio que facilite suplir esta demanda de energía. A lo largo de los últimos años se han propuesto diferentes maneras de almacenar la energía térmica que se ha obtenido durante el tiempo que está disponible la fuente externa de calor y no está supliendo necesariamente la unidad de consumo. En general la estrategia empleada para almacenar la energía térmica se basa en la utilización de un medio calor portador que está resguardado en un tanque y que almacena la energía térmica adquirida durante las horas de disponibilidad de fuente externa para ser luego aprovechada durante las horas de demanda por parte de una unidad de consumo.
- 25 Dos tipos de montaje posibles para el almacenamiento y aprovechamiento de la energía térmica adquirida desde una fuente externa son aquellos que emplean dos tanques de almacenamiento, uno caliente y otro frío, o bien un solo tanque (termoclina), el cual se caracteriza por tener dos zonas delimitadas, zona caliente y zona fría. La termoclina se define como una capa dentro de un cuerpo fluido donde la temperatura cambia rápidamente con la profundidad o altura, y donde hace presencia el fenómeno de estratificación del fluido que está contenido en el interior del tanque.
- 30 Es conocido que mantener a lo largo de un período largo de tiempo el efecto de estratificación al interior del tanque de almacenamiento de energía térmica (termoclina) presenta dificultades. Esto es debido a la constante incorporación de fluido en la parte superior, o zona caliente, y sustracción de fluido frío por la parte inferior del tanque, al efecto de conducción entre capas del fluido a diferente temperatura y a la mezcla de dichas capas como consecuencia de la turbulencia del fluido. Se han seguido algunas estrategias para favorecer la estratificación del fluido en el interior del tanque. Algunas de ellas han sido: membrana separadora que flota entre la interface caliente y fría en función de la densidad del fluido que está descrita en la patente no. US4523629, titulada "Method and apparatus for operating an improved thermocline storage unit"; incorporación de baffles fijos propuesto en la patente no. US2010301062, titulada "Single bi-temperature thermal storage tank for application in solar thermal plant"; utilización de baffles móviles que es propuesta en la patente no. EP2141432, titulada "Dual thermal energy storage tank"; o métodos de seguimiento de temperatura del fluido a diferentes alturas del tanque explicada en la patente no. US20120118554, titulada "Thermal energy storage system comprising optimal thermocline management". Cada una de estas patentes propone estrategias para evitar que el mezclado del fluido a diferentes temperaturas favorezca la degradación del sistema de almacenaje térmico. Una mejora en el diseño de la boca de entrada y salida del fluido calor portador al tanque de almacenamiento es propuesta en la patente no. US2012104003, titulada "Horizontal extraction and return extensions in liquid storage tanks", donde se busca reducir la velocidad del fluido al entrar o salir del tanque evitando la agitación del fluido y posterior mezcla.

- El medio calor portador o medio empleado para absorber la energía térmica, o calor de la fuente externa, es una sustancia fluida y evacua así el calor que está concentrado en la fuente externa de calor. Dicho fluido calor portador puede ser, por ejemplo, agua, aire, o algún fluido de la familia de los hidrocarburos (aceites térmicos), sales fundidas (nitratos de sodio, nitratos de potasio, cloruro de magnesio, entre otras) o una mezcla de las sales

mencionadas. Estos últimos deben tener como característica especial un punto de fusión bajo que no permita la solidificación del material en el interior del circuito durante el proceso.

5 La incorporación de materiales de cambio de fase (Phase Change Materials - PCM) en los sistemas de almacenamiento de energía térmica han surgido como una alternativa de mejora en la que se busca obtener un sistema de almacenamiento con menores dimensiones. En estos se aprovecha el calor latente de cambio de fase del material cuando cambia de estado sólido a líquido o viceversa durante el tiempo de almacenamiento/recuperación de energía térmica. El uso y aplicación de materiales de cambio de fase para altas temperaturas se expone inicialmente en la patente no. 4512388, titulada "High-temperature direct-contact thermal energy storage using phase-change media", donde se propone utilizar este tipo de materiales en aplicaciones para almacenar energía térmica a temperaturas entre 400 a 3000°F (aproximadamente 205 a 1650°C). Posteriormente se ha presentado la patente no. US20100230075, titulada "Thermal storage system" que describe una aplicación donde se emplea material de cambio de fase como medio de almacenamiento de energía térmica. Dicho material se encuentra depositado en el interior de un tanque, en el cual se encuentran sumergidos una serie de intercambiadores de calor que son el medio para suministrar o remover el calor al PCM. Se menciona algunos problemas de deterioro de la eficiencia de los intercambiadores en este tipo de montaje.

10 El contacto directo del PCM con los intercambiadores de calor se puede evitar si dicho material es encapsulado. Una propuesta basada en esta alternativa es explicada en la patente no. US2012018116, titulada "Thermal energy storage system comprising encapsulated phase change material", donde además se describe una manera para realizar el proceso de encapsulamiento del PCM en esferas. Se menciona como al emplear PCM encapsulado se obtiene un área de transferencia mayor, lo cual favorece la transferencia de calor entre el medio y el PCM.

15 El proceso de encapsulamiento del material de cambio de fase, el PCM, para aplicaciones de alta temperatura se presenta en la patente no. US20110259544, titulada "Encapsulated phase change apparatus for thermal energy storage", donde se explica la técnica empleada para fabricar cápsulas de PCM en forma cilíndrica. Posteriormente en la patente no. US20120055661, titulada "High temperature thermal energy storage system", se presenta una innovación para encapsular el PCM en el interior de tuberías redondas evitando posibles fallos o fracturas en la superficie de la misma. El método consiste en hacer una serie de hendiduras helicoidales a lo largo de la tubería que contiene el PCM, esto facilita la deformación de la cápsula sin riesgo de daños como consecuencia del cambio del volumen del PCM durante la fusión.

20 La Patente JP S56 10695 A divulga un sistema de almacenamiento de energía térmica que tiene las características del preámbulo de la reivindicación 1.

Finalidad de la invención

25 La presente invención tiene como finalidad perfeccionar el diseño de un sistema de almacenamiento de energía térmica empleando al menos un material sólido de calor sensible y un grupo de materiales de cambio de fase (PCM) que tienen diferente punto de fusión y que están debidamente contenidos. Ambos tipos de materiales, material sólido de calor sensible y PCM, están en contacto directo con un medio o fluido calor portador, quien se encarga de transferir al tanque (PCM y material sólido) el calor proveniente de una fuente externa durante la carga del sistema y posteriormente entregar el calor desde el tanque (PCM y material sólido) a un sistema externo durante la descarga. Hace parte de la finalidad de la invención la búsqueda de un dispositivo de dimensiones inferiores a los dispositivos convencionales sin perjudicar la eficiencia del mismo, donde se procure hacer un almacenamiento de la energía eficiente.

30 También se plantea un nuevo diseño del tanque de almacenamiento/recuperación de energía térmica, en el que se dispone de al menos dos zonas, a lo largo del tanque en su interior, debidamente diferenciadas por el material de relleno que contienen y por los rangos de temperaturas a los que estarán sometidas. En un extremo del tanque se dispondrá de una zona fría, con un grupo de PCM encapsulado que tiene como característica una temperatura de fusión baja o con material sólido de calor sensible. A continuación se encontrará ubicada una zona media compuesta de al menos un material sólido de calor sensible, el cual separa el fluido de la zona caliente y la zona fría. En el otro extremo del tanque contendrá un grupo de PCM encapsulado, con una alta temperatura de fusión o bien por material sólido de calor sensible. La configuración más frecuente es: tanque colocado en forma vertical, con una zona inferior con PCM encapsulado con temperatura de fusión baja, una zona media con material sólido de calor sensible y una zona superior con PCM encapsulado con temperatura de fusión alta. Cada una de las zonas descritas puede estar delimitada por un elemento (malla) que además de ser un elemento estructural, evita que las cápsulas de PCM se puedan mover libremente al interior del tanque.

Descripción de la invención

35 Un sistema de almacenamiento de energía térmica que aprovecha la capacidad de ciertos materiales para contener energía, en forma de calor sensible y calor latente de cambio de fase, es utilizado para almacenar durante la carga y recuperar durante la descarga el calor proveniente de una fuente externa de calor (e.g., energía solar o el calor

residual de un proceso de fabricación, y que está destinado a alimentar un sistema externo como por ejemplo: un sistema de generación de potencia eléctrica, un sistema de refrigeración por absorción, etc.).

El sistema de almacenamiento de energía térmica consiste de un único tanque o cavidad que contiene en su interior un grupo de materiales, formando un medio poroso a través del cual se puede hacer circular un fluido calor portador. Dichos materiales son: al menos un material de cambio de fase (PCM) debidamente encapsulado y el cual se encarga de almacenar/recuperar la energía en forma de calor sensible y latente de cambio de fase o estado (sólido-líquido o viceversa); al menos un material sólido de calor sensible que se encargará de almacenar/recuperar la energía en forma de calor sensible; y, posiblemente, un grupo de rejillas, mallas, o algún otro dispositivo, que se encargarán de conformar una estructura que evite la rotura debido al peso, o el escape hacia otra zona o hacia el fluido calor portador, de los materiales de cambio de fase o del material sólido de calor sensible. Dicho tanque tiene al menos dos tomas de entrada/salida, una en un extremo y otra en el opuesto, por donde un medio o fluido calor portador ingresa y abandona la cavidad o tanque. El fluido calor portador, que está en contacto directo con los materiales contenidos en el tanque, se encarga de transferir el calor obtenido de una fuente externa de energía térmica al tanque o sistema de almacenamiento durante la carga, y posteriormente transferir parte de este calor a un sistema de consumo externo durante la recuperación o descarga.

Un tanque de almacenamiento de energía térmica termoclina está basado en el principio de que un fluido caliente o con mayor temperatura tiende a posicionarse por encima de las capas frías o con menor temperatura en una misma cavidad. Este dispositivo hace uso del fenómeno de estratificación térmica de un fluido, el cual es una consecuencia de la diferencia de densidades del fluido en función de la temperatura. Diferentes aspectos tales como: la turbulencia generada a la entrada o salida del fluido del tanque, o la convección-difusión entre capas del fluido, la presencia de puentes térmicos, pueden afectar la estratificación del fluido, hecho que reduce la eficiencia del sistema de almacenamiento térmico que se describe en este documento.

La invención que se presenta, en principio, intenta aprovechar el efecto de tendencia al posicionamiento de las capas calientes y frías de fluido hacia las zonas altas y bajas, respectivamente. En efecto, la entrada/salida de fluido caliente, así como el PCM de mayor temperatura de fusión, deberían ubicarse en la parte superior del tanque (siempre y cuando el tanque esté dispuesto en forma vertical, Figuras 1a, 1b y 1c); mientras que la toma de entrada/salida de fluido frío y el PCM de menor punto de fusión, deberían ubicarse en la zona inferior. Sin embargo, en aplicaciones específicas en las que una configuración de ese tipo no sea posible, y teniendo en cuenta que probablemente la mayor parte de la energía será acumulada en los materiales que están en el interior del tanque (material sólido de calor sensible y PCM encapsulado) y no en el fluido calor portador, sería posible realizar una configuración diferente, como por ejemplo, colocar el tanque en forma horizontal, Figura 1d. En este último caso, el fluido tendería a mezclarse más que en el caso preferido (por acción de la convección natural), pero la presencia de los materiales de relleno (ya sea el material sólido de calor sensible o las cápsulas de PCM) tendería a reducir dicha mezcla. Asimismo, si el tiempo muerto entre carga y descarga del sistema es relativamente pequeño, dicha mezcla no tendría tiempo suficiente de homogeneizar la temperatura de los materiales que están en el interior del tanque, que en general tendrán una inercia mayor a la transferencia de calor que el propio fluido (principalmente los PCM).

De acuerdo a la invención que se presenta, que es un sistema de almacenamiento de energía térmica que tiene las características como se definen en la reivindicación 1, un material sólido de calor sensible está posicionado en la zona media del tanque, delimitando o separando así las zonas caliente y fría del tanque. Este elemento favorece la reducción del efecto de mezclado entre las diferentes capas del fluido, generadas por la diferencia de temperatura. Asimismo, el material sólido es en sí un elemento que almacena energía en forma de calor sensible. El material sólido puede ser seleccionado a partir de diferentes materiales, tales como: una mezcla de roca y arena, materiales cerámicos refractarios, cementos, cuarzo, Cofalite®, o similares.

En las zonas caliente y fría (que preferiblemente, se ubicarán en las zonas superior e inferior del tanque, respectivamente) es donde se ubicarán los grupos de materiales de cambio de fase encapsulados (PCM), quienes se encargan de almacenar/entregar energía térmica en forma de calor sensible y latente de cambio de fase. El/los PCM ubicados en la zona caliente tendrán temperaturas de fusión altas, mientras que el/los PCM de la zona fría tendrán temperaturas de fusión bajas. En ambos casos, dentro del rango de temperaturas de operación del sistema.

Está previsto, dentro de la invención, una configuración con PCM en un único extremo del tanque, ocupando el resto con material sólido de calor sensible. En este caso se tendrían únicamente dos zonas diferentes: una zona caliente (o fría) con PCM de temperatura de fusión alta (o baja) y otra zona de temperatura media/fría (o media/caliente) con material sólido de calor sensible.

En caso de ser necesario, las diferentes zonas podrían estar delimitadas por mallas o rejillas que confinen en su interior a los materiales de relleno, evitando el escape de los mismos hacia otras zonas o fuera del tanque con el fluido calor portador, y/o que sirvan como estructura para evitar su daño debido al peso que soportarían en caso de no ser éstas incluidas.

La manera como el sistema de almacenamiento de energía térmica captura y mantiene el calor es haciendo uso del calor sensible y latente de cambio de fase del PCM, y del calor sensible del material sólido, durante la carga. Dicha carga se realiza después de que el fluido calor portador entra en contacto con la fuente de energía externa y ésta le transfiere parte de su energía. El fluido calor portador que está caliente circula por el circuito y alimenta al tanque por un extremo, entrando en contacto directo con las cápsulas de material de cambio de fase de mayor punto de fusión. Parte de la energía contenida en el fluido caliente es transferida a las cápsulas de PCM, teniendo lugar el cambio de fase sólido-líquido. Mientras tanto, el fluido calor portador continúa su recorrido bañando el material sólido de calor sensible y transfiriendo a éste parte de la energía que le queda, que se acumulará en forma de energía sensible. Luego, el fluido continúa fluyendo y atraviesa la zona fría del tanque. Aquí se encuentran las cápsulas de PCM de menor punto de fusión, a las que el fluido entregará el resto de su energía, produciendo el cambio de fase del PCM contenido en dichas cápsulas. El fluido calor portador frío se conduce de nuevo a la fuente de energía externa para ser calentado y continuar con el ciclo del sistema. En la figura 2 se presenta un esquema, a modo de ejemplo, del sistema de almacenamiento de energía térmica junto a la fuente de energía externa, trabajando durante la etapa de carga. Se muestra también el sistema que demanda la energía o unidad de consumo externa. Se puede ver que mientras la unidad de consumo externa está trabajando, el sistema de almacenamiento está siendo cargado y las dos situaciones ocurren simultáneamente.

La descarga del sistema de almacenamiento, o etapa de recuperación de la energía térmica almacenada en el tanque, ocurre cuando la fuente de energía externa no está disponible o no es suficiente para satisfacer la demanda y se requiere una alimentación de energía térmica para continuar con su funcionamiento. Un esquema posible es el mostrado en la Figura 3. Durante esta etapa el sistema devuelve parte de la energía que almacenó —en forma de calor sensible y latente de cambio de fase del PCM (la porción de energía sensible acumulada en el PCM puede ser muy apreciable), y de calor sensible del material sólido— al fluido calor portador. El calor o energía térmica transferida al fluido calor portador en el tanque de almacenamiento es entregada a la unidad de consumo externo. Allí la energía térmica es utilizada (e.g., para generación de vapor de agua que posteriormente es conducido a una turbina que está conectada a un sistema de generación de electricidad). El fluido calor portador que sale de la unidad de consumo externo es retornado por el circuito al tanque termoclina y lo alimenta por la parte inferior del mismo, retroalimentando la zona fría del tanque.

Al menos un PCM de los incluidos en cada zona debe elegirse de forma que su temperatura de fusión esté comprendida dentro del rango de temperaturas de fluido admisible para el proceso en el que se utilizará el tanque de almacenamiento energético. Es decir, en un tanque en que se coloca PCM en la zona caliente, dicho PCM deberá tener una temperatura de cambio de fase que esté dentro del rango de temperaturas de fluido admisible para la alimentación al sistema de consumo externo de energía. Al menos un PCM de la zona fría, debe elegirse de forma que su punto de fusión se encuentre comprendido en el rango de temperaturas de fluido admisible para el retorno a la fuente de energía. De esta forma, se logra que, mientras el PCM ubicado en el extremo de salida de fluido —por ejemplo, durante la descarga, el PCM de la zona caliente— esté cambiando de fase, el fluido calor portador salga con una temperatura cercana a la del punto de fusión del PCM en cuestión; y por ende a una temperatura admisible para el dispositivo de consumo de energía externo. Es decir, la ubicación de PCM en los extremos de esta manera, prolonga el tiempo de operación del sistema de almacenamiento a niveles de temperaturas admisibles para el proceso en el que el mismo estará incluido.

El material de cambio de fase (PCM) puede ser encapsulado al interior de cápsulas con diferentes formas geométricas (e.g., cilíndrica, esférica, tórica, entre otras) o simplemente al interior de placas huecas. Dicha cápsula es una carcasa que puede ser de diferentes materiales, algunos de ellos son listados a continuación: acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, níquel o Inconel, titanio, entre otros, dependiendo de las condiciones de operación del sistema. La cápsula se caracteriza por tener un espacio libre en su interior, el cual es en general llenado parcialmente por material de cambio de fase. Dentro de los materiales de cambio de fase se encuentran parafinas, sales inorgánicas, metales, entre otros. A continuación se citan algunos de los materiales de cambio de fase para alta temperatura: Zn, AlSi, NaK, NaNO_3 , KNO_3 , $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3$, $\text{MgCl}_2\text{-NaCl}$, $\text{MgCl}_2\text{-KCl}$, NaCl-KCl , y combinaciones de éstas, cada uno de ellos son usados en función de la temperatura requerida de trabajo del sistema. Una característica importante de la cápsula que confina el PCM, si ésta es rígida, es la importancia de contar con un espacio libre que permita la expansión del PCM contenido en su interior durante el cambio de fase sólido-líquido. Si este espacio no es considerado, posibles daños en la estructura de la cápsula pueden aparecer a lo largo de la vida útil del sistema.

En el caso de sistemas de almacenamiento térmico de alta temperatura el fluido calor portador empleado es generalmente una sal fundida, mezcla de sales fundidas o metales alcalinos. La principal característica de este elemento es que debe estar en estado líquido durante todo el tiempo de ejecución del sistema, ya que ha de fluir continuamente por todo el circuito y es quien se encarga de transferir la energía térmica desde la fuente externa hasta el tanque, y luego del tanque a la unidad de consumo externo. Así, el fluido calor portador debe generalmente tener una temperatura o punto de fusión bajo, lo cual asegura que se mantendrá en estado líquido.

Respecto al proceso de fabricación de las cápsulas de PCM, esta patente no incide directamente en los diferentes mecanismos de fabricación de estos elementos, ni en una invención específica para la fabricación de estas, ya que

el propósito de esta patente es describir una invención capaz de almacenar y recuperar energía térmica a lo largo de un período de tiempo, empleando para ello materiales de calor sensible y materiales de cambio de fase. Sin embargo, se ha revisado la literatura técnica (patentes existentes), en las que se han encontrado diferentes alternativas o metodologías de fabricación de cápsulas para contener el PCM. Previamente se mencionaron

5 cápsulas con diferentes configuraciones geométricas, el objetivo es emplear cápsulas con mayor superficie lo cual favorece la transferencia de calor. La primera alternativa para conseguir cápsulas consiste en emplear la técnica de recubrimientos sucesivos sobre una masa o volumen de material de cambio de fase por varias capas de diferentes materiales. Inicialmente se parte de una masa o volumen de material de cambio de fase (e.g., nitrato de sodio,

10 nitrato de potasio, sales inorgánicas o mezcla de ellas), con una configuración geométrica deseada, la cual es recubierta por un segundo material que conforma así una carcasa del primero (e.g., material basado en polímeros orgánicos, tal como: hidroxipropilmetilcelulosa, carboximetil celulosa, etil celulosa, polietileno, poli vinilo cloruro o similares). Un nuevo recubrimiento con un tercer material (p.ej. un metal tal como: níquel, acero al carbono o acero inoxidable), que tiene como característica una temperatura de fusión mayor a la del segundo material, es depositado sobre la primera carcasa. La cápsula resultante es sometida a calor en un horno, donde la capa generada por el

15 segundo material se evapora, dejando un espacio libre al interior de la cápsula, este espacio será ocupado por el PCM en la expansión que tiene lugar durante el proceso de cambio de fase sólido-líquido del PCM. Por último, la cápsula es sometida a un nuevo recubrimiento con un material cuatro (e.g., un metal tal como: níquel, acero al carbono o acero inoxidable, que puede ser el mismo material de la tercera capa), el cual configura la carcasa final de la cápsula que contiene en su interior el PCM, esta última capa debe tener la característica de crear una superficie impermeable que no permita pérdida o fuga de PCM durante el proceso de fusión de éste. La segunda alternativa

20 consiste en recubrir la masa o volumen de PCM con un material compuesto formando una primera carcasa, dicho material compuesto es la mezcla de partículas de un metal y un polímero (e.g., cloruro de sodio con partículas de metal, polímero con partículas de metal, mezcla de arcilla con partículas de metal o similares). La cápsula resultante es sometida a un segundo recubrimiento con un segundo material (e.g., un metal tal como: níquel, acero al carbono o acero inoxidable), luego la cápsula es sometida a calor en un horno donde el material compuesto es sinterizado, dando como resultado que las partículas de metal conforman un recubrimiento metálico y el otro material (generalmente un polímero) desaparece, dejando espacio libre para que el PCM se expanda durante el cambio de fase. Por último, un nuevo recubrimiento de un tercer material (e.g., un metal tal como: níquel, acero al carbono o

25 acero inoxidable, que puede ser igual a la segunda capa) es efectuado conformando la carcasa final de la cápsula que contiene el PCM, dicha carcasa debe ser impermeable y tener un punto de fusión superior al del PCM. Una tercera alternativa consta de emplear la técnica de electrodeposición de metales sobre el material de cambio de fase, en la que por medio de una reacción auto-catalítica se deposita un metal, tal como el níquel, sobre el PCM obteniéndose una carcasa de níquel, existe la restricción en este caso que el PCM debe ser un metal, tal como el zinc. En esta última técnica no hay seguridad de dejar espacio libre para la expansión del PCM, lo cual puede dar como resultado daños en las cápsulas a lo largo de los ciclos de uso del sistema. La última alternativa que se describe para encapsular el PCM, sin restringir la utilización de otros métodos de fabricación de encapsulados, es en principio más sencilla y genera menores problemas a la hora de definir el espacio libre necesario para la expansión del PCM. La carcasa que contiene el PCM se confecciona a partir de un trozo de tubería (e.g., de sección cilíndrica), uno de sus extremos es sellado y el otro se deja libre para el posterior llenado, parcial o total del PCM, luego este

30 extremo es sellado mediante una tapa que es soldada a la tubería, obteniéndose una cápsula con PCM en su interior. Las anteriores técnicas de confección de PCM encapsulado han sido descritas en patentes previas que han sido debidamente referenciadas en la sección de *Estado de la Técnica*.

Como se comentó al inicio de esta sección, en el interior del tanque de almacenamiento o termoclina hay una serie de materiales: PCM, material sólido de calor sensible, fluido calor portador, y posiblemente, rejillas o mallas de

45 contención. La elección de dichos materiales, el dimensionamiento de cada una de las zonas descritas, la cantidad de cada uno de los materiales (masa o volumen de material), la dimensión de las cápsulas (diámetro, altura, longitud, espesor, etc.), el tamaño del tanque, el espesor de las paredes aislantes, entre otros aspectos, han de ser establecidos a partir de las condiciones de trabajo y los regímenes de operación del sistema de almacenamiento de energía térmica. Para establecer las dimensiones de la invención propuesta en esta patente, se emplea un método de simulación numérica, que hace uso de un modelo matemático para establecer el comportamiento térmico y fluido-dinámico del sistema de almacenamiento de energía térmica. El modelo matemático está compuesto por un sistema de ecuaciones gobernantes, el cual ha sido obtenido a partir de los principios de conservación de masa, momento lineal y energía. El mismo, conforma un sistema de ecuaciones que se resuelve mediante métodos numéricos. La solución del modelo da como resultado una predicción del funcionamiento del sistema, que se utiliza como criterio

50 para el dimensionamiento de la invención descrita en esta patente.

Otros detalles y características se irán poniendo de manifiesto durante la descripción de la invención en la que se indica a título ilustrativo pero no limitativo diferentes aspectos de la invención, con el auxilio de las correspondientes Figuras.

Sigue a continuación una relación de las distintas partes que componen la invención y que se identifican en la

60 sección que viene a continuación (Descripción de las figuras) con el auxilio de números: (1) sistema de almacenamiento de energía térmica, (2) tanque de almacenamiento o termoclina, (4) zona caliente, (5) zona fría, (6) zona media, (7) mallas o rejillas, (8) material sólido de calor sensible, (9) cápsulas de PCM encapsulado, (10) fluido

calor portador, (11) toma de alimentación o drenado del tanque ubicada en la parte superior del tanque, (12) toma de alimentación o drenado del tanque ubicada en la parte inferior del tanque, (17) fuente externa de calor (e.g., captador solar, en lo que respecta al sistema de almacenamiento de energía térmica de una planta de CSP o un sistema de refrigeración por absorción), y (18) unidad de consumo externo.

5 Descripción de las figuras

Para complementar la descripción de la invención que se presenta en este documento y para una mejor comprensión de las características que la distinguen, se acompaña la presente memoria descriptiva de un grupo de figuras que se relacionan a continuación:

10 La Figura 1a es una representación esquemática del sistema de almacenamiento de energía térmica basado en calor sensible y latente de cambio de fase. En esta figura se representan las diferentes zonas que tienen lugar en el interior del tanque, zona caliente (4), zona fría (5) y zona media (6), configuración preferida. En cada una de las zonas está contenido un volumen de diferentes materiales, PCM encapsulado (9) y material sólido de calor sensible (8), que están delimitados por unas estructuras, rejillas o mallas (7), que hacen de soporte y evitan el movimiento brusco (o fuga) de los volúmenes de diferente material en el interior del tanque.

15 La Figura 1b es una representación esquemática del sistema de almacenamiento de energía térmica basado en calor sensible y latente de cambio de fase. En esta figura se representan las diferentes zonas que tienen lugar en el interior del tanque, zona caliente (4) y zona media/fría (5), una de las posibles configuraciones que puede tener lugar. Una zona está compuesta por PCM encapsulado (9) y la otra por material sólido de calor sensible (8), que están delimitados por unas estructuras, rejillas o mallas (7), que hacen de soporte y evitan el movimiento brusco (o fuga) de los volúmenes de diferente material en el interior del tanque. Es posible tener el PCM encapsulado (9) arriba en la zona caliente (con temperatura de fusión alta, dentro del rango de operación del sistema) y el material sólido de calor sensible (8) abajo en la zona fría, o bien utilizar un PCM de bajo punto de fusión (dentro del rango de operación) para la zona fría y material sólido para la zona media/caliente. El diseño final dependerá de la aplicación, condiciones de operación, entre otros factores.

20

25 La Figura 1c es una representación esquemática del sistema de almacenamiento de energía térmica basado en calor sensible y latente de cambio de fase. En esta figura se representan las diferentes zonas que tienen lugar en el interior del tanque, zona caliente dividida en dos sub-zonas (13) y (14), zona fría dividida en dos sub-zonas (15) y (16), y zona media (6), otra posible configuración. Cada una de las zonas está llena con diferentes materiales, PCM encapsulado (9) y material sólido de calor sensible (8), que están delimitados por unas estructuras, rejillas o mallas (7), que hacen de soporte y evitan el movimiento brusco (o fuga) de los volúmenes de diferente material en el interior del tanque. Dos tipos de PCM, cada uno de ellos con diferentes temperaturas de fusión, llenan la zona caliente configurando así dos sub-zonas; de la misma forma, dos PCM de diferentes puntos de fusión llenan la zona fría.

30

La Figura 1d es una representación esquemática del sistema de almacenamiento de energía térmica basado en calor sensible y latente de cambio de fase. En esta figura se representan las diferentes zonas que tienen lugar en el interior del tanque, zona caliente (4), zona fría (5) y zona media (6), en un tanque que se encuentra dispuesto en forma horizontal. En cada una de las zonas está contenido un volumen de diferentes materiales, PCM encapsulado (9) y material sólido de calor sensible (8), que están delimitados por unas estructuras, rejillas o mallas (7), que hacen de soporte y evitan el movimiento brusco (o fuga) de los volúmenes de diferente material en el interior del tanque.

35

La Figura 2 es una representación esquemática del sistema de almacenamiento de energía térmica acoplado a la unidad externa de calor (fuente de calor) (17). En este caso el sistema está trabajando durante el proceso de carga o almacenamiento de energía.

40

La Figura 3 es una representación esquemática del sistema de almacenamiento de energía térmica acoplado a una unidad de consumo (18) que demanda energía en la etapa que no hay fuente externa de calor, se muestra su funcionamiento durante el proceso de descarga/recuperación de energía.

45 Descripción de realizaciones preferidas de la invención

Una de las realizaciones preferidas de la presente invención corresponde en un sistema de almacenamiento de energía térmica basado en la acumulación de energía en forma de calor sensible y latente de cambio de fase del PCM y del calor sensible de un material sólido que se encuentran en el interior de un tanque. Dichos materiales están distribuidos en tres zonas, claramente definidas. Inicialmente la energía térmica que proviene de una fuente externa (e.g., energía solar, calores residuales de procesos industriales, etc.) es almacenada, y posteriormente es recuperada y aprovechada por una unidad de consumo de energía que la demanda durante un período de tiempo donde no hay fuente externa de energía (e.g., durante la noche en el caso de emplear energía solar), o la misma no es suficiente.

50

En la Figura 1 se representa de manera esquemática el sistema de almacenamiento de energía térmica (1), compuesto por un tanque o cavidad (2) en el que se encuentra contenido una serie de materiales que se emplean como medio de almacenamiento de calor. Estos materiales corresponden a:

- 5 • Un grupo de cápsulas (9) que contienen en su interior un material de cambio de fase, dicho material se caracteriza por cambiar de estado (sólido-liquido o viceversa) en función de la temperatura a la que las cápsulas son sometidas. Al menos dos materiales de cambio de fase se emplean en la invención presentada: un material de cambio de fase, con una temperatura o punto de fusión alto que está encapsulado en el interior de un grupo de cápsulas, el cual está contenido en la parte superior del tanque, conformando la zona caliente (4); y un segundo material de cambio de fase, con una temperatura o punto de fusión bajo que está encapsulado al interior de un grupo de cápsulas, el cual está contenido en la parte inferior del tanque, conformando la zona fría (5).
- 10 • Un material sólido de calor sensible (8) que está ubicado en la zona central (6) del tanque.
- 15 • Una serie de rejillas o mallas (7) que se podrían utilizar, si fuera necesario, con la función de aglutinar cada uno de los materiales descritos anteriormente, conformando una estructura rígida que evitaría el movimiento brusco de las cápsulas (9) y la fuga del material sólido de calor sensible (8) del interior del tanque (2).
- 20 • Un medio o fluido calor portador (10) que circula por todo el circuito de la instalación y que es el medio de transporte de la energía térmica, entre la fuente externa de calor, el tanque de almacenamiento y la unidad de consumo externo. Este fluido entra y sale del tanque, bañando e intercambiando calor con cada uno de los materiales descritos: cápsulas de PCM (9), material sólido de calor sensible (8) y rejillas (7), a diferentes temperaturas en función de la posición (altura) del tanque.

El tanque (2) se caracteriza por tener dos tomas que permiten el acceso o salida del fluido calor portador (10), una toma (11) ubicada en la parte superior y otra toma (12) ubicada en la parte inferior del tanque. El diseño de las tomas, en principio, buscaría homogeneizar el flujo en toda la sección de tanque; sin embargo, este dependerá de la aplicación concreta y de las restricciones constructivas. Para evitar pérdida excesiva de calor, el tanque (2) está aislado térmicamente del exterior mediante material aislante (3) que recubre las paredes y tapas, superior e inferior, del tanque.

El sistema de almacenamiento de energía térmica opera en dos etapas diferentes, la primera corresponde a la carga del sistema, que ocurre cuando la fuente externa suministra calor (e.g., durante las horas del día en el que hay radiación solar, en el caso de un sistema basado en energía solar); y la segunda etapa corresponde a la descarga o recuperación del calor almacenado previamente. Esta última etapa tiene lugar cuando la fuente externa de calor no está disponible o no es suficiente, y la unidad de consumo externa demanda o requiere energía para su completo funcionamiento. El acoplamiento del sistema de almacenamiento de energía térmica en el que se combina material de calor sensible y material de cambio de fase a una unidad o fuente de calor externa y a una unidad de consumo externa se muestran en las Figuras 2 y 3, donde se representa de manera esquemática cada una de las etapas de funcionamiento del sistema.

Durante la carga o etapa de almacenamiento, el fluido calor portador (10) intercambia calor con la fuente externa de calor (17), donde el calor de la fuente externa es transferido al fluido calor portador. El fluido calor portador (10) fluye, circulando por el circuito que se muestra en la Figura 2, en dos direcciones: la primera corresponde directamente al sistema o unidad de consumo externo (18), donde el calor es requerido para completar un proceso (e.g., generación de vapor de agua que se requiere en un sistema turbina-generator que se encarga de producir electricidad); y la segunda ruta que sigue el fluido calor portador es hacia el tanque de almacenamiento (2). El ingreso del fluido calor portador se efectúa por la parte superior del tanque, ingresando a la zona caliente (4), bañando e intercambiando calor con el grupo de cápsulas de PCM, debido al flujo de calor desde el fluido calor portador (10) hacia las cápsulas (9), el material de cambio de fase aumenta su temperatura y cuando alcanza su punto de fusión, el material cambia de estado (sólido-liquido) consiguiendo así almacenar en forma de calor latente de fusión una gran parte de la energía térmica transferida desde el fluido calor portador. El fluido calor portador continúa fluyendo en el interior del tanque (2) hasta alcanzar el material sólido de calor sensible (8), con quien también intercambia calor y quien almacena en forma de calor sensible una parte del calor transferido desde el fluido calor portador. Finalmente, el fluido calor portador llega a la zona fría (5) del tanque, donde continúa intercambiando calor con las cápsulas de PCM antes de salir del tanque e iniciar un nuevo ciclo.

Durante la descarga o etapa de recuperación, Figura 3, el fluido calor portador (10) intercambia calor con la unidad de consumo externo (18), donde el calor es utilizado para completar un proceso (e.g., generar vapor de agua). Al salir el fluido calor portador (10) de la unidad de consumo externa, este fluido circula hasta retornar con un menor nivel de energía al tanque (2). El ingreso del fluido calor portador al tanque se hace por la parte inferior, alimentando la zona fría (5) del tanque.

La invención contempla el uso de un modelo matemático, que se utiliza para predecir el tamaño del tanque, las dimensiones y cantidad de cápsulas (9) que se encuentran contenidas en la zona caliente (4), y en la zona fría (5);

también se emplea para hacer una estimación de la cantidad de cada uno de los materiales a incluirse en el tanque termoclina (2).

5 Una segunda realización preferida del sistema de almacenamiento de energía térmica corresponde a un tanque (11) que permite el acceso o salida del fluido calor portador (15), una toma (17) ubicada en la parte superior y otra toma (18) ubicada en la parte inferior del tanque. Dicho tanque, está dividido únicamente por dos zonas, zona caliente (4) y zona media/fría (5). Se muestra un esquema en la Figura 1b. En esta realización preferida se emplean un grupo de cápsulas con PCM (9) que llenarán una de las zonas y un material sólido de calor sensible (8) que llenará la otra zona.

10 Una variante a la segunda realización preferida, es aquella en que un PCM (9) de bajo punto de fusión está en la zona fría (5), mientras que la zona media/caliente (4) contiene al material sólido de calor sensible (8).

15 Una tercera realización preferida del sistema de almacenamiento de energía térmica corresponde a un tanque (2) que está delimitado en tres zonas, zona caliente, dividida en dos sub-zonas (13) y (14), zona fría, dividida en dos sub-zonas (15) y (16), y una zona media (6), un esquema es mostrado en la Figura 1c. En esta realización preferida se emplean diferentes grupos de cápsulas de PCM (9), cada grupo de cápsulas caracterizado por tener diferentes temperaturas de fusión. Los grupos de cápsulas (9) llenarán cada una de las sub-zonas y un material sólido de calor sensible (8) que llenará la zona media. El orden de llenado del tanque con los diferentes materiales es función de la temperatura, así que las cápsulas de PCM con temperatura de fusión menor se ubicarán en la parte inferior o zona fría del tanque (16), seguida de un segundo grupo de cápsulas de PCM con temperatura de fusión mayor a la anterior pero inferior a los otros dos grupos de cápsulas de PCM (15), luego se ubica el material sólido de calor sensible (8), posteriormente se colocarán los dos grupos de cápsulas de PCM en las sub-zonas (14) y (13), cuidando de colocar el grupo con mayor temperatura de fusión en la parte más alta del tanque. Es posible que sea necesaria la inclusión de rejillas o mallas delimitando cada zona y sub-zona, para evitar el movimiento y posible mezclado de las cápsulas, además de impedir la pérdida o fuga del material sólido del tanque de almacenamiento.

20

25 Una cuarta realización preferida del sistema de almacenamiento de energía térmica corresponde a un tanque (2) que está dispuesto en posición horizontal, en comparación de las realizaciones preferidas descritas anteriormente, un esquema es mostrado en la Figura 1d. Dicho tanque está dividido en tres zonas: zona caliente (4), zona fría (5) y zona media (6), y cada zona está llena de diferentes materiales, tales como PCM encapsulado (9) y material sólido de calor sensible (8). La aplicación de esta realización preferida dependerá de las condiciones de operación, tales como: tiempos y temperaturas de carga y descarga.

30 Ejemplos ilustrativos

Los siguientes ejemplos ilustrativos muestran los resultados obtenidos en dos aplicaciones de la invención presentada en este documento.

Primeramente se describen las características principales de la aplicación relacionada, luego se presentan diferentes posibles diseños y resultados obtenidos.

35 Características del ejemplo ilustrativo seleccionado:

Se considera un proceso industrial en el que se requiere almacenar energía térmica durante unas horas del día, para luego ser utilizada en las horas siguientes.

40 Al proceso de acumulación de energía en el sistema se le llama de "carga", mientras que al de extracción de energía se le llama de "descarga". Se especifican, además, unos límites de temperatura (temperaturas de consigna) para ambos procesos, los cuales no deberán sobrepasarse. Es decir, para el proceso de carga, en el que entra al sistema un fluido caliente y sale fluido frío, se especifica un máximo de temperatura de salida que no deberá superarse. Del mismo modo, para el proceso de descarga, en el que entra un fluido frío y sale fluido caliente, se especifica una temperatura mínima de salida. Estas son restricciones usuales y que responden a requisitos de los procesos industriales, ya sea por razones de eficiencia o de seguridad de los equipos a los que se conecta el sistema de acumulación.

45

Como parámetros fijos se consideran:

- Temperaturas de entrada de fluido en ambos procesos (carga y descarga). Se designarán como T_{max} y T_{min} , respectivamente.
- 50 • Flujo másico de fluido en ambos procesos. En este caso se consideran iguales entre sí.
- Propiedades del fluido calor portador.

- Dimensiones del tanque de acumulación.

• Temperaturas de consigna de ambos procesos. Se designarán como $T_{con,car}$ y $T_{con,des}$ a las correspondientes a la carga y a la descarga, respectivamente. Asimismo, se considera que los intervalos de temperaturas “admisibles” en ambos procesos son del 15% del rango total de temperaturas. Es decir, la diferencia entre la temperatura de entrada del proceso de carga (máxima temperatura de trabajo, y por ende, máxima temperatura de salida en la descarga) y la temperatura de consigna del proceso de descarga (mínima temperatura de salida), será igual que las correspondientes temperaturas de entrada en la descarga y consigna en la carga. Esto también se puede escribir de la siguiente forma:

$$T_{max} - T_{con,des} = T_{con,car} - T_{min} = 0.15 (T_{max} - T_{min}) = \Delta T_{adm}$$

Se compararán resultados de simulaciones numéricas de un sistema de almacenamiento de energía térmica que emplea únicamente material sólido de calor sensible, y otros en que se incluyen zonas de PCM caliente y fría.

Suponiendo que se cuente con materiales de cambio de fase a temperatura fija, las temperaturas de fusión de por lo menos dos grupos de PCM, se eligen dentro de los rangos de temperaturas admisibles. Es decir:

$$T_{max} > T_{PCM1} > T_{con,des}$$

$$T_{min} < T_{PCM2} < T_{con,car}$$

La cuestión aquí es dimensionar cada zona, de manera que se logre una utilización (global e individual) óptima, es decir, lograr que la mayor cantidad posible de PCM cambie de fase, y que la mayor cantidad posible de material sólido sufra un cambio de temperaturas lo mayor posible, entre los procesos de carga y descarga consecutivos. Asimismo –dado que en general, la acumulación de energía sensible en el PCM no es despreciable– cuanto mayor sea el rango de temperaturas que este recorra, mayor será la acumulación en el mismo.

Simulaciones:

El método utilizado para simular el comportamiento térmico del sistema de acumulación es el de simulación numérica de las ecuaciones gobernantes. Las ecuaciones de balance de masa y energía se han simplificado utilizando suposiciones razonables y se han realizado diversas simulaciones, utilizando un mismo material de acumulación sensible, y variando la configuración y temperaturas de fusión de los PCM de los extremos. Se comparan los resultados obtenidos con un sistema en el que únicamente se utiliza material de relleno (no PCM) y con otro en el que se utiliza un único material de cambio de fase en todo el tanque (PCM_{ref}), cuyo punto de fusión se encuentra entre las temperaturas de consigna, o sea:

$$T_{con,des} > T_{PCM,ref} > T_{con,car}$$

Las propiedades termo-físicas de los diferentes materiales que componen el sistema se han tomado de la literatura técnica.

Asimismo, se asumirá que los materiales de cambio de fase estarán encapsulados en esferas, y que el empaquetamiento de las mismas resulta en una fracción de vacío ($\epsilon = 1 - V_{PCM}/V_{tot}$) del 34%; mientras que el material sólido de calor sensible deja una fracción de vacío del 22%, asumiendo que se tienen diámetros de partículas diversos, lo que produce una mejor compactación en comparación con el caso de cápsulas esféricas del mismo diámetro.

Se realizan simulaciones de varios procesos de carga y descarga consecutivos hasta llegar a un equilibrio, en el que toda la energía que se acumula en el proceso de carga, se entrega en el siguiente proceso de descarga (estado de equilibrio periódico). No se tiene en cuenta así el período “muerto” entre procesos, en el que se pierde parte de la energía y se deteriora la estratificación. Sin embargo, los resultados obtenidos son útiles en el sentido de que se corresponden con la máxima cantidad de energía acumulable/extraíble en el equilibrio, luego de varias pasadas. Asimismo los resultados obtenidos no dependen de las condiciones supuestas al comienzo de las simulaciones, las cuales afectan de gran manera los resultados de los primeros ciclos.

Resultados:

Se plantean sobre el caso ilustrativo descrito anteriormente cuatro situaciones diferentes denominadas caso A, B, C1 y C2. Los casos A y B se toman como referencia estándar, mientras que los casos C1 y C2 incorporan criterios propios de esta invención.

- Caso A: Tanque totalmente lleno de material sólido de calor sensible (no PCM).

ES 2 828 525 T3

- Caso B: Tanque totalmente lleno del PCM de referencia ($T_{PCM,ref}$). Su temperatura de fusión está ubicada en el 60% del rango de temperaturas de funcionamiento; es decir,

$$T_{PCM,ref} = T_{min} + 0.60 (T_{max} - T_{min})$$

Dicha temperatura no se encuentra en el rango admisible de temperaturas de salida de ninguno de los dos procesos ($T_{con,des} > T_{PCM,ref} > T_{con,car}$)

- Caso C1: Tanque del tipo híbrido, utilizando dos PCM, con un 20% de la altura cubierta por PCM1, 60% por material sólido de calor sensible y el restante 20% por PCM2. Las temperaturas de fusión de los dos PCM son:

$$T_{PCM1} = T_{max} - 0.10 (T_{max} - T_{min})$$

$$T_{PCM2} = T_{min} + 0.10 (T_{max} - T_{min})$$

Las temperaturas de cambio de fase de ambos PCM se encuentran en los rangos de temperatura admisible de los procesos:

$$T_{max} > T_{PCM1} > T_{con,des}$$

$$T_{min} < T_{PCM2} < T_{con,car}$$

- Caso C2: Tanque del tipo híbrido, utilizando cuatro PCM, con un 15% de PCM1, 15% de PCM3, 40% de material sólido de calor sensible, 15% de PCM4 y 15% de PCM2. Las temperaturas de fusión de los otros dos PCM son:

$$T_{PCM3} = T_{max} - 0.20 (T_{max} - T_{min})$$

$$T_{PCM4} = T_{min} + 0.20 (T_{max} - T_{min})$$

Las temperaturas de cambio de fase de los nuevos PCM (PCM3 y PCM4) no se encuentran en los rangos de temperatura admisible de los procesos:

$$T_{con,des} > T_{PCM3} > T_{PCM4} > T_{con,car}$$

Los resultados de las simulaciones son los siguientes:

RESULTADOS	A	B	C1	C2
Tiempo de acumulación	1.0	0.81	2.20	2.26
Energía acumulada por PCM + material sólido	1.0	0.71	2.16	2.31
Energía acumulada en total	1.17	0.95	2.89	2.97
(Energía acumulada en PCM + material sólido) / (Máximo de energía acumulable en PCM + material sólido)	43.5%	15.8%	67.9%	63.7%
(total de energía acumulada) / (máximo de energía acumulable)	43.7%	19.1%	68.1%	62.1%

La tabla anterior muestra resultados de:

- Tiempo de acumulación: Es el tiempo de funcionamiento del dispositivo, antes de llegar a la temperatura de consigna. Se ha expresado en forma relativa al caso A; es decir, el caso B tiene un tiempo de funcionamiento del 81% con respecto al tiempo del caso A.

Se ha puesto un único tiempo de funcionamiento, ya que el tiempo resultante para los procesos de carga y de descarga son casi los mismos, dadas las suposiciones realizadas.

Un mayor tiempo de acumulación es un buen indicador de una mayor cantidad de energía acumulada (o entregada), dado que la temperatura de salida (en ambos procesos) no cambia mucho para los diferentes casos, debido a que el rango de temperaturas admisibles es relativamente estrecho.

- Energía acumulada en PCM + material sólido: Es la cantidad de energía que se ha acumulado en el proceso de carga (o entregado en el de descarga) en el PCM y en el material sólido. Al igual que con el tiempo de funcionamiento, este valor se ha expresado en forma relativa al valor del caso A.

- Energía acumulada en total: Es el total de energía acumulada (o entregada) por el sistema de acumulación. Incluye la energía acumulada en PCM + material sólido y la energía acumulada en el fluido calor portador que permanece en el tanque luego de cada proceso. Este valor se expresa en función al calor acumulado en PCM + material sólido del caso A. Es decir, la energía acumulada en total, en el caso A, es un 17% mayor a la energía

acumulada en PCM + material sólido del mismo caso; mientras que en el caso C1, el total acumulado equivale a 2.89 veces lo acumulado en el caso A en PCM + relleno.

- 5 • (Energía acumulada en PCM + material sólido) / (Máxima energía acumulable en PCM + material sólido): Equivale a la relación entre los valores de energía acumulada en PCM + material sólido y la energía que podría ser acumulada si se usara la capacidad total (sensible y latente) del material de relleno. O sea, este valor intenta expresar una medida de eficiencia de utilización del total del material contenido en el tanque (PCM + material sensible).
- 10 • (Energía acumulada en total) / (Máximo de energía acumulable): Equivale a la relación entre los valores de energía acumulada en total y la energía que podría ser acumulada si se usara la capacidad total de todos los materiales dentro del tanque. La diferencia con el valor anterior es que en este caso se incluye la acumulación de energía en el fluido calor portador confinado en el tanque. Este valor intenta expresar una medida de eficiencia de utilización de todo el material contenido en el tanque.
- 15 Se puede observar que los peores resultados han sido obtenidos con el caso B, es decir, con el tanque de acumulación relleno totalmente de un PCM cuya temperatura de fusión no está dentro del rango admisible de ninguno de los procesos (carga o descarga). El caso A, es el siguiente en cuanto a peores resultados, mientras que los casos C1 y C2, que corresponden a tanques híbridos, son los que mejores resultados muestran. El caso que utiliza cuatro PCM muestra resultados ligeramente mejores que el que incluye solo dos; sin embargo, la eficiencia en la utilización del material acumulador es menor en el primero.
- 20

Es necesario indicar que las composiciones consideradas en los casos C1 y C2 no necesariamente son las óptimas (fijando los materiales que se utilizan y variando la altura de tanque que ocupa cada uno) en cuanto a resultados de energía acumulada; y que dichos resultados varían sensiblemente con la modificación de las cantidades que se incluyen, siendo necesario un cuidadoso estudio para obtener dicho óptimo (teniendo en cuenta a su vez, criterios de eficiencia de utilización y costes). Los casos C1 y C2 aquí presentados han sido elegidos de entre los mejores, obtenidos luego de haber realizado varias pruebas, y sin más intención que presentar de forma ilustrativa las posibilidades de la invención.

Cada una de las realizaciones preferidas del sistema de almacenamiento de energía térmica descrita en esta sección y a lo largo de este documento, se pueden acoplar a un sistema que genere calor (e.g., calor residual de un proceso de fabricación), lo almacena durante un periodo de tiempo (tiempo durante el cual el calor residual se produce) y posteriormente es recuperado y entregado al mismo sistema o a un segundo sistema que demanda o consume calor para realizar un proceso a lo largo de un período de tiempo que no corresponde (o corresponde parcialmente) al mismo tiempo de almacenamiento. Este tipo realizaciones preferidas no necesariamente han de operar a altas temperaturas, como en el caso del generador de electricidad que emplea como fuente de energía la radiación solar que se ha venido empleando como ejemplo.

Descrita suficientemente la naturaleza de la presente invención, así como la forma de ponerla en práctica, no se considera necesario hacer más extensa la descripción para que cualquier experto en la materia comprenda los alcances y ventajas de la invención. Se hace constar que, dentro de su esencialidad, podrá ser llevada a cabo en otras formas de realización, dentro de las reivindicaciones, que difieran en detalle de la indicada a título de ejemplo, y a las cuales alcanzará igualmente la protección que se recaba siempre que no se altere, cambie o modifique su principio fundamental.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y material de cambio de fase encapsulado, que se utiliza para almacenar durante una etapa de carga energía térmica obtenida de una fuente externa durante un período de tiempo y luego durante una etapa de descarga recuperar parte de esta energía almacenada y llevarla hacia una unidad de consumo externo que la necesita, estando el sistema de almacenamiento de energía formado por un tanque de termoclina (2), cuya función es contener un material sólido de calor sensible (8) y un material de cambio de fase encapsulado (9) dispuestos en capas, y un fluido portador de calor (10);
- en el que el tanque de termoclina (2) tiene dos extremos opuestos, cada uno de dichos extremos opuestos incluye al menos una entrada/salida, por medio de la cual durante dicha etapa de carga el fluido portador de calor entra en una zona caliente (4) y sale del tanque de termoclina (2), a través de una zona fría (5), caracterizado porque:
- las capas de material de cambio de fase encapsulado (9) están ubicadas en dicha zona caliente (4) del tanque de termoclina (2),
 - el material de cambio de fase encapsulado (9) tiene una temperatura de fusión elevada, dentro de un rango de trabajo admisible de las temperaturas del fluido para alimentar dicha unidad de consumo externo y prolongar el tiempo de funcionamiento del sistema de almacenamiento, y
 - el material sólido de calor sensible (8) se encuentra:
 - en una zona intermedia que separa al menos dos grupos de PCM encapsulados (9); o
 - en una zona entre las capas PCM de la zona caliente (4) y la entrada/salida de la zona fría (5).
2. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, en el que el material de cambio de fase encapsulado (9) es un primer grupo de material de cambio de fase encapsulado, y el sistema comprende además un segundo grupo de material de cambio de fase encapsulado (9), en una capa ubicada durante dicha etapa de carga en la zona fría, estando la capa de material sólido de calor sensible (8) ubicada en una zona media que separa las capas de material de cambio de fase encapsulado (9), en el que el segundo grupo de material de cambio de fase encapsulado (9) tiene una temperatura de fusión baja dentro de un rango de trabajo admisible de las temperaturas del fluido para volver a la fuente de energía durante dicha etapa de descarga.
3. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, en el que las propiedades de los materiales que lo componen se utilizan para capturar y almacenar la energía térmica que se produce en una unidad externa en una etapa de carga, para luego recuperarla y entregarla a una segunda unidad de consumo externo en la etapa de descarga.
4. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, que comprende un material de cambio de fase encapsulado (9) que se encapsula en cápsulas o carcasas o simplemente en placas huecas de material impermeable resistente al desgaste y la corrosión, evitando que el material de cambio de fase encapsulado entre en contacto directo con el fluido portador de calor, que podría degradar el material de cambio de fase encapsulado.
5. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, en el que dicho tanque de termoclina (2) está dispuesto verticalmente y tiene una pared lateral y dos tapas, una superior y una inferior, cada una de las cuales está aislada térmicamente por medio de un material aislante (3).
6. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, que comprende un grupo de materiales de cambio de fase, que se seleccionan entre: sales inorgánicas y/o mezclas eutécticas de las mismas que incluyen nitrato de sodio, nitrato de potasio, cloruro de manganeso; diferentes tipos de metales o aleaciones de metales, incluidos zinc o níquel-zinc; diferentes tipos de parafinas; o cualquier otro material adecuado para el rango de temperaturas de trabajo
7. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 2, que comprende el uso de diferentes materiales de cambio de fase encapsulados (9), para dicho primer grupo de material de cambio de fase encapsulado (9), y dicho segundo grupo de material de cambio de fase encapsulado (9) dependiendo de las temperaturas o puntos de fusión de la temperatura de trabajo u operación del sistema de almacenamiento de energía térmica y de la temperatura de la zona fría y la zona caliente del tanque de termoclina (2).

- 5 8. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 2, que comprende un grupo de cápsulas que contienen un material de cambio de fase encapsulado (9) en su interior, teniendo las cápsulas como característica principal una temperatura o punto de fusión mucho más alto que el del material de cambio de fase encapsulado (9) y siendo impermeable evitando la fuga del material encapsulado de cambio de fase (9).
- 10 9. sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, en el que el tanque de termoclina (2) está dispuesto verticalmente y comprende al menos una entrada (11) para el acceso o salida del fluido portador de calor (10) de la zona caliente (4) del tanque de termoclina (2) que se encuentra en la parte superior.
- 15 10. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, en el que el tanque de termoclina (2) está dispuesto verticalmente y comprende al menos una entrada (12) para el acceso o salida del fluido portador de calor (10) desde la zona fría (5) del tanque, dicho acceso o salida a la zona fría (5) estando ubicado en la parte inferior del tanque de termoclina (2).
- 20 11. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1 o 2, en el que el tanque de termoclina (2) está dispuesto horizontalmente.
- 25 12. Sistema de almacenamiento de energía térmica combinando material sólido de calor sensible y capas de material de cambio de fase, según la reivindicación 1, que comprende emplear un fluido calor portador (10) que ha de circular en estado líquido o gaseoso por todo el circuito que conforma el sistema de almacenamiento de energía térmica, la fuente externa y la unidad de consumo externo.

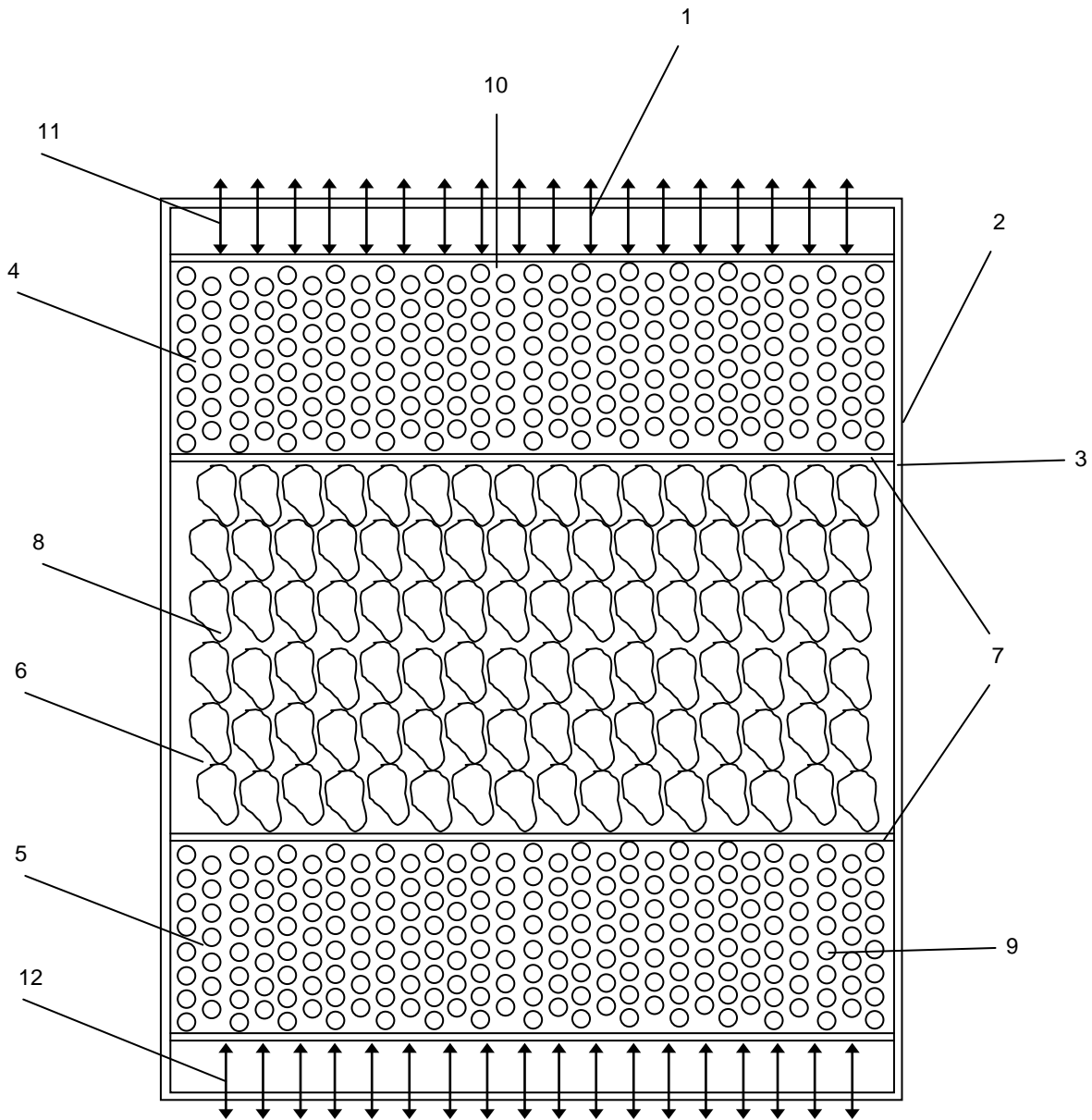


Figura 1a

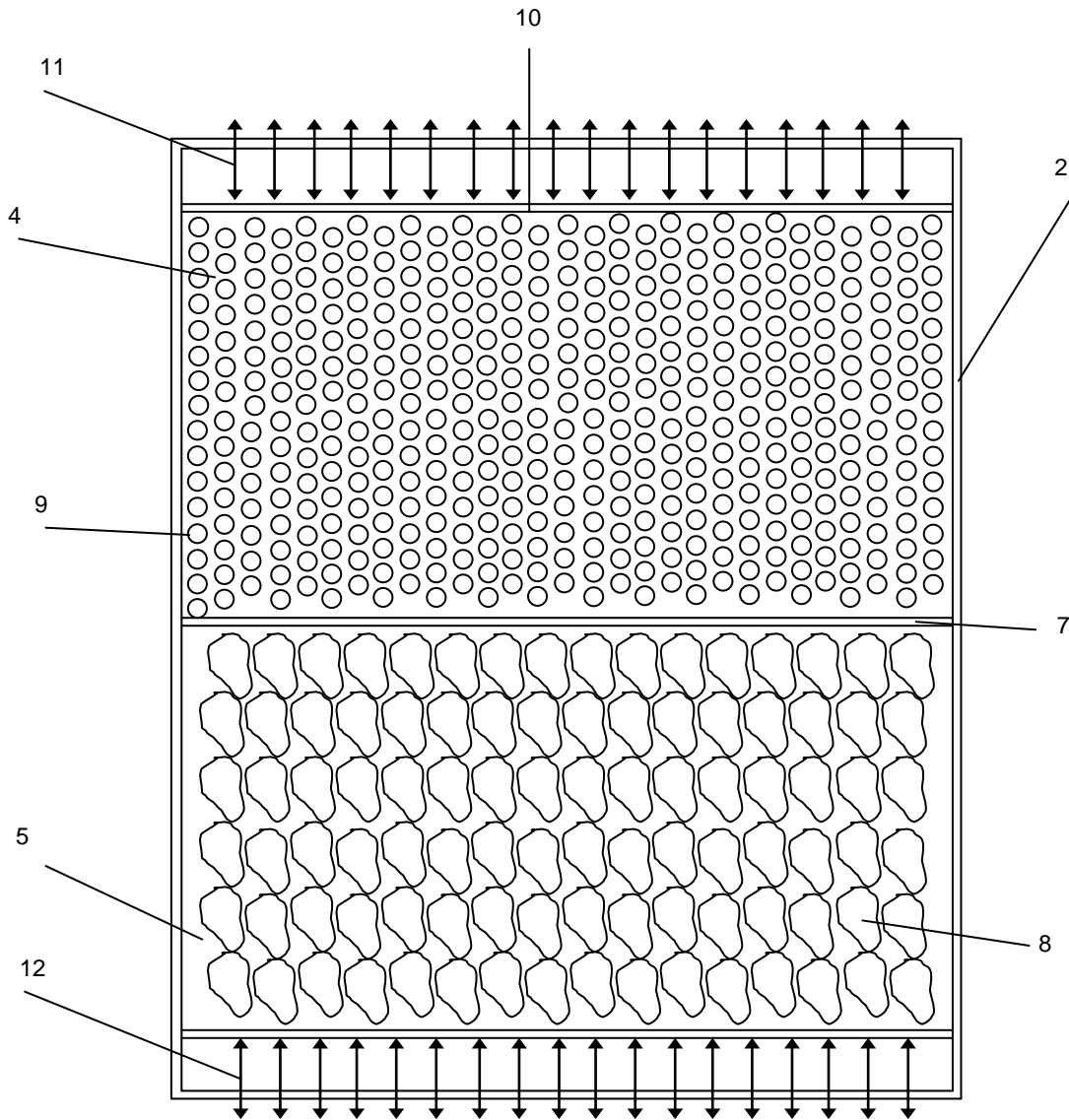


Figura 1b

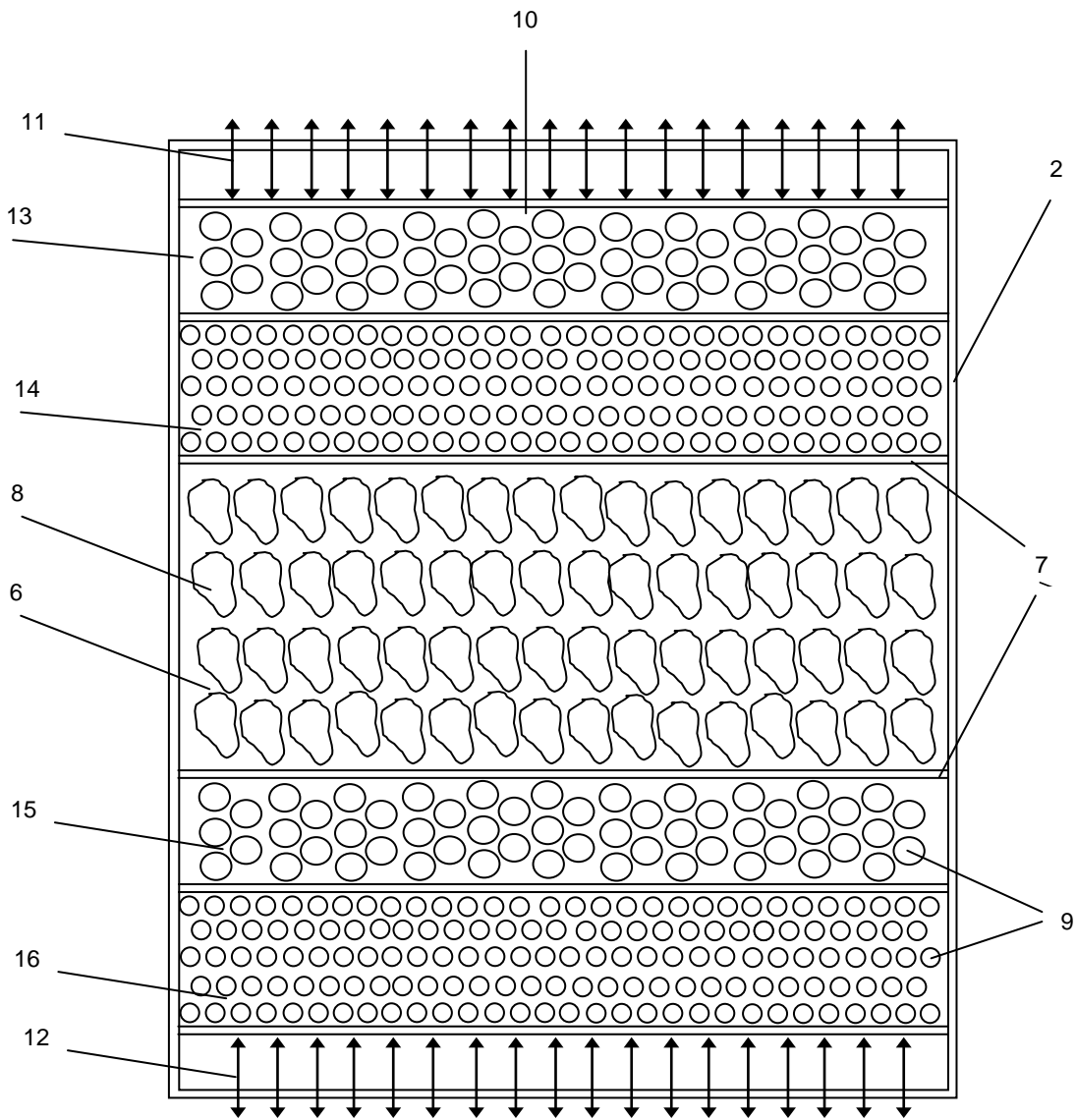


Figura 1c

