

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 341**

51 Int. Cl.:

F28D 20/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2011** **PCT/GB2011/001214**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.02.2012** **WO12020233**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2011** **E 11751922 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017** **EP 2603761**

54 Título: **Método y aparato para almacenar energía térmica**

30 Prioridad:

15.03.2011 GB 201104387
12.08.2010 GB 201013578

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
05.12.2017

73 Titular/es:

HIGHVIEW ENTERPRISES LIMITED (100.0%)
Suite A, 6 Honduras Street
London, EC1Y 0TH, GB

72 Inventor/es:

MORGAN, ROBERT y
DEARMAN, MICHAEL

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 645 341 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).

Método y aparato para almacenar energía térmica**Descripción****5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a métodos y aparatos para almacenar energía térmica.

Antecedentes de la Invención

10 Los dispositivos de almacenaje de energía térmica (o almacenes térmicos) se usan para recibir y después almacenar calor, frío o energía térmica durante un periodo de tiempo hasta que se necesita para un propósito útil. Tales dispositivos de almacenamiento térmicos permiten que se almacene temporalmente energía a temperatura alta o baja (incluyendo criogénica) para el uso posterior, y ofrecen la posibilidad de almacenar energía térmica, por
15 ejemplo, para su conversión posterior a electricidad, para su uso en un proceso de licuefacción de aire para reducir la energía consumida por el proceso, o para proporcionar refrigeración para procesos co-localizados. Se conoce el almacenar energía térmica aumentando o disminuyendo la temperatura de una sustancia, cambiando el estado (Es decir, sólido, líquido o gas) de una sustancia, o por una combinación de los dos.

20 Un almacén térmico opera típicamente en un proceso de almacenamiento térmico de tres fases: carga, almacenamiento y descarga. La Figura 1 muestra una representación de un almacén térmico genérico. El almacén incluye una masa térmica 10, pasajes 20, características de superficie 30, una entrada y una salida 50. En una fase carga un fluido de transferencia de calor (líquido o gas), en lo sucesivo referido como HTF, se pasa a través de la entrada 40, en los pasajes 20, y fuera de la salida 50, para o calentar o enfriar la masa térmica 10. En una fase de
25 almacenamiento la energía térmica se almacena entonces en la masa térmica 10 hasta que se requiere. En una fase de descarga, el HTF se pasa a través de la entrada 40, en los pasajes 20, y fuera de la salida 50, sobre la masa térmica 10 para recuperar la energía térmica para su transferencia a otro proceso. La masa térmica 10 incluye las características de superficie 30 para promover la transferencia de calor. En los almacenes térmicos conocidos las fases de carga y descarga son simétricas, es decir los caudales de HTF son los mismos durante las fases de carga y
30 descarga.

Una aplicación en la que tales almacenes térmicos se usan es en el campo de almacenar energía para generar electricidad. Un medio efectivo de almacenar energía a gran escala se requiere para equilibrar la demanda del consumidor de electricidad con la capacidad de generación, y para atenuar suministro intermitente de, por
35 ejemplo, fuentes de energía renovables. Las demandas de energía varían en bases horarias, diarias, semanales y estacionales. Se reconocen ahora como importante soluciones alternativas para equilibrar el suministro y la demanda en lugar de usar las plantas de combustibles fósiles tradicionales para ayudar a controlar las emisiones de gases de efecto invernadero.

40 La WO 2007/096656 divulga un sistema de almacenaje de energía criogénica que explota la temperatura y el diferencial de fase entre aire líquido a baja temperatura y el aire ambiental, o pérdida de color, para almacenar energía en periodos de demanda baja y/o exceso de producción, permitiendo que esta energía almacenada sea liberada después para generar electricidad durante periodos de demanda alta y/o producción restringida. El sistema comprende un medio para licuar aire durante periodos de baja demanda de electricidad, un medio para almacenar el
45 aire líquido producido y una turbina de expansión para expandir el aire líquido. La turbina de expansión está conectada a un generador para generar electricidad cuando se requiera para satisfacer insuficiencias entre el suministro y la demanda.

50 Una restricción principal a la eficiencia de tales sistemas de almacenamiento de energía criogénicos es la cantidad de energía fría que permanece en el aire procesado expulsados de la turbina de expansión tras la expansión. La combinación de almacenamiento de potencia criogénica y almacenamiento de energía térmica proporciona medios de igualar el suministro de electricidad para satisfacer variaciones en el suministro y la demanda. En particular, un almacén térmico puede usarse con un sistema de almacenamiento de energía criogénica para recuperar y almacenar la energía fría liberada cuando el almacén de energía criogénica está generando
55 potencia y liberando la energía fría para reducir el coste de energía de la fabricación de fluido criogénico cuando se recarga el sistema de almacenamiento de energía criogénica. La Figura 2 muestra un ejemplo de un sistema de almacenamiento de energía criogénica que incluye un módulo de licuadora de aire 60, un almacén de líquido criogénico 70, un módulo de recuperación de potencia criogénica 80, y un almacén térmico 90. La Figura 2 muestra que existe una necesidad de almacenamiento térmico debido al cambio de tiempo requerido entre la generación de electricidad y la necesidad de generar criógeno adicional.

60 Por lo tanto, hay una necesidad para un almacén térmico de energía fría eficiente que facilite la recuperación de energía fría de gases de escape, y que permita que la energía fría sea almacenada como frío de alto grado, para maximizar la eficiencia energética de la posterior recuperación para el uso durante la fase de licuefacción, facilitando la producción de más criógeno, y/o para proporcionar refrigeración para procesos co-
65

localizados.

Cuando se usa un almacén térmico para almacenar energía fría en un sistema de almacenamiento de energía criogénico, la fase de descarga y la fase de carga del almacén térmico pueden ser de duraciones diferentes. En particular, la fase de descarga es típicamente cuatro o más veces más larga que la fase de carga. Debido al desajuste entre los periodos de demanda alta y baja y la diferente duración de las fases de carga y descarga, hay una necesidad para un sistema de almacenamiento térmico flexible que pueda cargarse y descargarse a diferentes tasas. La necesidad de tal sistema de almacenamiento térmico presente una necesidad genérica para un almacén térmico en el que la recuperación de calor, la pérdida de presión de HTF, y la capacidad de almacenamiento puedan optimizarse para un régimen de funcionamiento "asimétrico", es decir, un régimen en el que la carga y descarga del almacén térmico no se llevan a cabo en los mismos caudales del HTF.

Estas necesidades también se aplican a sistemas en los que la energía térmica se almacena como calor. Por lo tanto, hay una necesidad para un almacén térmico eficiente que facilite la recuperación de calor, frío o energía térmica con alta eficiencia de exergía de los gases de escape.

La US 2010/0089391 A1 divulga un sistema para capturar radiación solar a una tasa variable y proporcionar calor a una tasa constante a una estación de generación eléctrica. El sistema usa un componente de almacenamiento térmico que incluye dos o más zonas de almacenamiento térmico para coordinar la tasa y cantidad de calor administrado a la estación de generación.

Teoría de Almacenamiento Térmico de Lecho Fijo

Los inventores se han dado cuenta que es importante para optimizar el diseño de la interfaz entre el HTF y la masa térmica para asegurar que hay buena transferencia de calor del HTF al almacén térmico a una caída de presión baja. En general es deseable proporcionar una masa térmica sólida que tenga un área superficial grande, y características para deshacer la capa límite térmica en la interfaz HTF-sólida, para promover la transferencia de calor óptima. Sin embargo, tales características aumentan la fricción entre la masa térmica sólida y el HTF y por lo tanto aumentan las pérdidas de presión en el HTF generado a lo largo del almacén térmico.

En el caso de un lecho fijo de partículas, la relación entre el caudal de fluido y la pérdida de presión por unidad de longitud se ha descrito por Ergun como:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\mu u(1-\varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75\rho u^2(1-\varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} \quad (1)$$

donde: $\Delta P/L$ es la caída de presión por unidad de longitud;

u es la velocidad del fluido;

μ es la viscosidad del fluido;

ε es el espacio vacío del lecho (es decir la proporción del volumen de espacio sin llenar por partículas con el volumen total del lecho;

D_p es el diámetro (es decir, el diámetro esférico equivalente) de las partículas; y

ρ es la densidad del fluido.

Por lo tanto, la optimización de la velocidad del fluido, el diámetro de las partículas y la forma de las partículas es esencial para minimizar la caída de presión por unidad de longitud y, consecuentemente, las pérdidas de bombeo del HTF.

Se han propuesto una variedad de relaciones empíricas para describir el proceso de transferencia de calor entre un fluido y un lecho de partículas relacionando el número de Nusselt (Nu), el número de Reynolds (Re), y el número de Prandtl (Pr). Por ejemplo, Ranz & Marshall propusieron la siguiente relación:

$$Nu = 2 + 1.8(Re)^{0.5}(Pr)^{0.33} \quad (2)$$

El número de Reynolds se define como:

$$Re = \frac{v\rho l}{\mu} \quad (3)$$

y el número de Nusselt se define como:

$$Nu = \frac{hl}{k} \quad (4)$$

donde v es la velocidad de HTD, ρ es la densidad de HTF, μ es la viscosidad de HTF, h es el coeficiente de transferencia de calor entre el HTF y las partículas, k es la conductividad de HTF y l es la longitud de la característica relevante. Como el número de Prandtl sólo se refiere a las propiedades físicas del HTF, puede concluirse que el coeficiente de transferencia de calor (h) es proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad de HTF (v).

La inspección de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) indica que las pérdidas de presión son proporcionales al cuadrado de la velocidad, mientras que la transferencia de calor convectiva es proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad.

Los presentes inventores han determinado que la optimización cuidadosa del caudal a través del lecho fijo es esencial si se va a controlar la caída de presión dentro de límites aceptables pero se va a lograr buena transferencia de calor entre el HTF y la masa térmica.

Por ejemplo, es deseable limitar la caída de presión a lo largo de un almacén térmico particular a 0,5 bar (50 kPa) ya que un recipiente por debajo de esa presión no está clasificado generalmente como un recipiente a presión y es por lo tanto menos caro de fabricar. Los inventores han determinado que un número de Nusselt de más de 100 es preferible para asegurar buena transferencia de calor. La Figura 3 muestra el rendimiento previsto de dicho almacén térmico a lo largo de un intervalo de caudales. Puede verse que hay una 'ventana operativa' estrecha de caudales de HTD entre aproximadamente 1kg/s y 2kg/s donde el almacén funcionará dentro de estos límites especificados. En un sistema de almacenamiento de energía térmica, sería deseable ser capaz de descargar el almacén a una tasa de aproximadamente el 20% de la tasa de carga. En ese caso, un almacén de geometría fija sufriría de o pobre rendimiento térmico durante la descarga o de pérdida de presión inaceptablemente alta durante la carga.

La relación de aspecto de una masa térmica es la relación de la longitud media de la masa térmica con el área del flujo en sección transversal media. Los inventores han determinado que una relación de aspecto pequeña, es decir un área de flujo grande y/o longitud corta, es deseable para una masa térmica dada para minimizar la velocidad de HTF y por lo tanto reducir las pérdidas de presión. Sin embargo, dicha relación de aspecto pequeña lleva a 'pérdidas finales' altas durante la carga y descarga del almacén: durante la carga, la energía térmica del HTF no puede capturarse completamente a menos que se use un almacén muy largo. Esto no es deseable ya que la sección final del almacén cercana a la salida del almacén no está completamente cargada y la energía térmica fluye entre las secciones cargada y parcialmente cargada durante la fase de almacenamiento del ciclo, resultando en una degradación de la eficiencia térmica. Un problema similar se encuentra durante la descarga; a medida que el almacén se descarga, la temperatura de salida se desvía de la temperatura de almacenamiento al final del ciclo y no se puede descargar completamente la sección final del almacén cercana a la salida sin, de nuevo, resultar en una pérdida de eficiencia térmica. Esto se ilustra en las figuras 4 y 5 que muestran resultados de simulación para dispositivos de energía térmica en los que el flujo de carga es cinco veces más grande que el flujo de descarga. La línea más a la izquierda en las figuras 4 y 5 muestra un gráfico de la temperatura del almacén en su entrada a lo largo del tiempo. La línea central en las figuras 4 y 5 muestra un gráfico de la temperatura del almacén en su parte media a lo largo del tiempo. La línea más a la derecha en las figuras 4 y 5 muestra un gráfico de la temperatura del almacén en su salida a lo largo del tiempo. El área sombreada en la figura 4 representa las pérdidas térmicas potenciales debido a los efectos finales para la condición del flujo de carga. El proceso de descarga se detiene cuando la temperatura de salida del almacén, mostrada por la línea más a la derecha en la figura 5 es demasiado alta, dejando parte del almacén en un estado parcialmente descargado. Las pérdidas son aproximadamente el doble para el caso de caudal más bajo en relación al caso de caudal alto, ya que el almacén se ha optimizado para un caudal más alto.

Por consiguiente, existe una necesidad de un dispositivo y método de almacenamiento de energía térmica que pueda cargarse y descargarse a diferentes tasas. También existe una necesidad de un dispositivo y método de almacenamiento de energía térmica que pueda tener una fase de carga más larga que la fase de descarga, o una fase de descarga más larga que la fase de carga.

Sumario de la Invención

La presente invención aborda estas necesidades proporcionando, en una primera realización:

un dispositivo de almacenamiento de energía térmica que comprende:

- una primera masa térmica;
- una segunda masa térmica; y

una tercera masa térmica;

en el que:

5 las relaciones de aspecto de al menos dos de la primera, segunda y tercera masas térmicas son diferentes entre sí; y

10 una disposición de conductos y válvulas configurados para dirigir un fluido de transferencia de calor para que pase a través de una combinación de una o más de las masas térmicas, en el que la disposición de conductos y válvulas es tal que las masas térmicas pueden aislarse unas de otras.

En una realización preferida, la disposición de conductos y válvulas está configurada para permitir que el HTF se dirija a través de:

- 15 i) todas de la primera, segunda y tercera masas térmicas, y alternativamente
ii) dos de la primera, segunda y tercera masas térmicas, y alternativamente
iii) una de la primera, segunda y tercera masas térmicas

20 La disposición de conductos y válvulas puede ser tal que el HTF pueda dirigirse a través de dos de la primera y segunda masas térmicas en paralelo y la tercera masa térmica en serie, y alternativamente a través de dos de la primera y segunda masas térmicas en paralelo.

25 El HTF puede comprender un gas o un líquido. El HTF se usa o para calentar o para enfriar la masa térmica.

La disposición de conductos y válvulas permite al HTF fluir sobre una o más de las masas térmicas para transferir energía térmica a la masa térmica desde el HTF, y desde la masa térmica al HTF.

30 Una masa térmica es una sustancia que es capaz de absorber y emitir energía térmica.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica puede comprender más de tres masas térmicas.

35 Cada una de las al menos tres masas térmicas puede comprender una célula térmica individual o una pluralidad de células térmicas dispuestas en paralelo entre sí. Cuando una o más de las masas térmicas comprenden una pluralidad de células térmicas, cada célula térmica dentro la masa térmica puede tener las mismas o diferentes áreas en sección transversal medias. Cuando una masa térmica comprende más de una célula térmica dispuesta en paralelo con otra, la relación de aspecto de la masa térmica es la relación de la longitud media de las células térmicas con la suma del área de flujo en sección transversal media de las células térmicas.

40 La primera, segunda y tercera masas térmicas pueden comprender partículas sólidas y el diámetro de las partículas en al menos dos de la primera, segunda y tercera masas térmicas puede ser diferente a las otras. Alternativamente, el diámetro de las partículas en al menos dos de la primera, segunda y tercera masas térmicas puede ser el mismo que las otras. Cuando se hace referencia al diámetro de las partículas, se entiende el diámetro esférico equivalente medio de todas las partículas dentro de la masa térmica.

45 Cada célula térmica puede comprender una o una combinación de:

- 50 i) un lecho fijo de partículas sólidas a través del cual puede pasar el HTF directamente para llevar la energía térmica a y desde el dispositivo de almacenamiento de energía térmica,
ii) un lecho fijo de partículas sólidas dispuesto alrededor de al menos un conducto a través del que puede pasar el HTF,
iii) una 'matriz' de masa sólida que incluye una pluralidad de canales a través de los que puede pasar el HTF,
o
55 iv) un volumen de material de cambio de fase.

Cuando la primera, segunda y tercera masas térmicas comprenden partículas sólidas la célula térmica puede comprender una, o una combinación de las opciones i) y ii).

60 Un material de cambio de fase es un material que es capaz de almacenar y liberar energía cambiando su estado, por ejemplo de sólido a líquido o de líquido a gas y viceversa.

En la opción ii), el lecho fijo está aislado del HTF por al menos un conducto.

65 En las opciones i) y ii), las partículas pueden ser partículas esféricas o casi esféricas. El diámetro esférico equivalente medio de las partículas es preferiblemente de 1 a 25 mm. Cada célula térmica puede incluir una

pluralidad de partículas sólidas que tienen los mismos diámetros esféricos equivalentes, o diámetros esféricos equivalentes diferentes. Además o alternativamente, cada una de las partículas sólidas puede estar formada de materiales diferentes. Los diámetros esféricos equivalentes de las partículas dentro de cada célula térmica pueden aumentar o disminuir a lo largo de la longitud de la célula térmica, desde la entrada a la salida. El material del que están formadas las partículas dentro de cada célula térmica puede cambiar a lo largo de la longitud de la célula térmica.

El diámetro esférico equivalente medio de las partículas en una célula térmica puede ser diferente, o el mismo, que en otra célula térmica. Variando el diámetro de las partículas entre las masas térmicas, pueden optimizarse las características de caída de presión/transferencia de calor del almacén térmico.

Cada célula térmica puede tener una sección transversal de forma circular, hexagonal, cuadrada, romboide u otra que podría envasarse fácilmente en una estructura de soporte.

Cada masa térmica puede tener una capacidad térmica alta para minimizar el volumen de masa térmica. Cada masa térmica tiene preferiblemente también un coste bajo.

Preferiblemente, cada masa térmica tiene una conductividad térmica baja. Preferiblemente, cada masa térmica tiene una conductividad térmica menor de 20 W/mK. Más preferiblemente, cada masa térmica tiene una conductividad térmica menor de 5 W/mK. Una conductividad térmica baja es deseable para minimizar la transferencia de calor a través de la masa térmica durante la carga, descarga o almacenamiento de un almacén 'lleno en parte'. Los inventores han descubierto que medios altamente conductores, como el cobre, conducen calor significativo a través del eje del almacén, degradando así la eficiencia térmica del almacén. Esto se ilustra en los resultados de la simulación mostrada en la figura 6 para la temperatura en la entrada y salida de almacenes que contienen cobre y partículas de roca trazadas frente al tiempo. En particular la figura 6 muestra que la caída de temperatura en la entrada del almacén térmico es más lenta para el cobre que para la roca, y que la caída de temperatura en la salida del almacén térmico es más rápida para el cobre que para la roca debido a la conducción descendente de la longitud del almacén. La Figura 6 también muestra la energía que se pierde de un almacén relleno con cobre en comparación con un almacén relleno con roca.

Por lo tanto, para crear un almacén térmico eficiente, es deseable que cada masa térmica tenga una relación de capacidad térmica con conductividad alta. Preferiblemente cada masa térmica tiene $C_p \cdot \rho / k > 180$ s/mm, más preferiblemente cada masa térmica tiene $C_p \cdot \rho / k > 500$ s/mm, donde C_p es la capacidad de calor específica, ρ es la densidad, y k es la conductividad térmica de las partículas que comprenden la masa térmica. La Tabla 1 siguiente resume las propiedades de una variedad de materiales potenciales.

Tabla 1

Material	Densidad kg/m ²	Capacidad de Calor Específica kJ/kgK	Conductividad Térmica W/mK	Coste Relativo	Relación de Masa Térmica con conductividad s/mm
Acero Inoxidable	7865	0.46	19	Alta	190
Aleación de cobre	8940	0.383	386	Muy Alta	8.87
Roca (granito)	2630	0.92	2.79	Baja	867
Agua (hielo)	996	2.05	2.22	Baja	919

De la Tabla 1 puede observarse que la roca es un material preferido para las partículas para cada masa térmica ya que es económico y tiene propiedades térmicas favorables. Preferiblemente, la roca comprende granito, basalto material cerámico artificial. Alternativamente, el agua en la forma de hielo podría usarse para las partículas en cada masa térmica. Preferiblemente, el hielo con cambiaría su estado a lo largo del intervalo de funcionamiento del almacén.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica puede comprender además una estructura de soporte para sostener las masas térmicas. La estructura de soporte puede además sostener al menos una parte de la disposición de conductos y válvulas.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica puede además comprender aislamiento para aislar

cada masa térmica para minimizar las pérdidas térmicas de la masa térmica durante el almacenamiento.

El aislamiento puede comprender material térmicamente aislante aplicado al interior de la estructura de soporte y/o roturas térmicas entre una base de la masa térmica y la estructura de soporte. Las roturas térmicas son capas de material de baja conductividad o espacios de aire que evitan la conducción de calor a través de la rotura térmica. Cada célula térmica puede aislarse en su interior. En una realización particular, el aislamiento interior comprende una diseño de doble piel en el que la estructura de soporte externa está aislada de la masa o células térmicas por una capa de aislamiento y una piel interior delgada en contacto la masa o células térmicas. Alternativamente, se puede aplicar un recubrimiento por pulverización o material térmicamente aislante al interior de la estructura de soporte, o puede montarse material de aislamiento encapsulado al interior de la estructura de soporte.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica puede además comprender aislamiento para aislar la disposición de los conductos y válvulas para minimizar las pérdidas térmicas del dispositivo de almacenamiento.

Aislar las masas térmicas unas de otras ayuda a evitar las pérdidas convectivas del almacén de energía térmica durante la fase de almacenamiento entre la carga y descarga. En particular, se puede proporcionar una válvula en la entrada y la salida de cada masa térmica.

En uso, el HTF se usa para calentar o enfriar la primera, segunda o tercera masas térmicas. La energía térmica se almacena entonces en las masas térmicas hasta que se requiere, cuando el HTF se pasa sobre la masa para recuperar la energía térmica de calor o frío para la transferencia a otro proceso.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica de la presente invención es capaz de almacenar energía térmica de calor o frío. El sistema es particularmente adecuado para almacenar frío de alto grado (es decir temperatura ultra baja) para su uso en la fase de licuefacción de un sistema de almacenamiento de energía criogénica. Las temperaturas ultra bajas son las de -100°C o menos. Las temperaturas criogénicas son las de -150°C o menos.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica puede optimizarse para funcionar como un almacén para frío de alto grado dentro de sistema de almacenamiento de energía criogénica, permitiendo el cambio de tiempo de la producción de electricidad para periodos de demanda baja o sobre-suministro, para satisfacer periodos de demanda lata o suministro bajo.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica de la presente invención permite diferentes energía térmica y caudales de HTF para las fases de carga y descarga, es decir, permite las fases de carga y descarga asimétricas. En una realización preferida, el sistema permite un proceso de almacenamiento térmico de cuatro fases que implica una fase de carga, una fase de almacenamiento, una fase de descarga inicial y una fase de descarga final. Alternativamente, o además, la fase de carga puede incluir múltiples fases de carga. En una realización preferida, el sistema permite un proceso de almacenamiento térmico de cuatro fases que implica una fase de carga inicial, una fase de carga final, una fase de almacenamiento y una fase de descarga. Consecuentemente, el sistema puede usarse con fases de carga y descarga múltiples y/o interrumpidas de tal manera que el sistema puede funcionar sin estar completamente cargado o completamente descargado.

La disposición de conductos y válvulas es tal que el HTF puede dirigirse a través de dos o más de las masas térmicas en serie.

La disposición de conductos y válvulas puede además ser tal que una primera y segunda de las masas térmicas están en paralelo y una tercera de las masas térmicas esta en serie con la primera y segunda de las masas térmicas.

La disposición de conductos y válvulas puede además ser tal que el HTF puede dirigirse a través de dos o más de las masas térmicas en paralelo.

En una segunda realización, la presente invención proporciona un método para almacenar energía que comprende:

proporcionar un dispositivo de almacenamiento de energía térmica que comprende:

una primera masa térmica,
una segunda masa térmica, y
una tercera masa térmica,

en el que:

las relaciones de aspecto de al menos dos de la primera, segunda y tercera masas térmicas son diferentes entre sí; y

5 proporcionar una disposición de conductos y válvulas configuradas para dirigir un fluido de transferencia de calor para que pase a través de una combinación de una o más de las masas térmicas, en donde la disposición de conductos y válvulas es tal que las masas térmicas pueden aislarse unas de las otras; cargar el dispositivo de almacenamiento de energía térmica con energía térmica dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de la primera, segunda y tercera masas térmicas; después
10 almacenar la energía térmica en el dispositivo de almacenamiento de energía térmica durante un periodo de tiempo; después descargar al menos una parte de la energía térmica del dispositivo de almacenamiento de energía térmica dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de la primera, segunda y tercera masas térmicas, en donde el paso de carga y y/o el paso de descarga comprende un proceso multi-etapa.

15 Un proceso de descarga multi-etapa puede comprender:

20 descargar una parte de la energía térmica del dispositivo de almacenamiento de energía térmica dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de una primera configuración de una o más de las masas térmicas; y después descargar una parte adicional de la energía térmica del dispositivo de almacenamiento de energía térmica dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de una segunda configuración de una o más de las masas térmicas, en donde la primera configuración no es la misma que la segunda configuración.

25 La primera configuración puede comprender la primer y segunda masas térmicas en serie.

La segunda configuración puede comprender la segunda y tercera masas térmicas en serie. Alternativamente, la segunda configuración puede comprender la primera, segunda y tercera masas térmicas en serie.

30 Un proceso de carga multi-etapa puede comprender:

35 cargar una parte de la energía térmica en el dispositivo de almacenamiento de energía térmica dirigiendo el fluido de transferencia de calor a través de una tercera configuración de una o más de las masas térmicas; y después cargar una parte adicional de la energía térmica en el dispositivo de almacenamiento de energía térmica dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de una cuarta configuración de una o más de las masas térmicas, en donde la tercera configuración no es la misma que la cuarta configuración.

40 El paso de cargar el dispositivo de almacenamiento de energía térmica puede comprender dirigir el HTF a través de la primera, segunda y tercera masas térmicas, en donde la segunda y tercera masas térmicas están dispuestas en paralelo, y la primera masa térmica está dispuesta en serie con la segunda y tercera masas térmicas.

45 Las exposiciones referentes a la primera realización son también aplicables a la segunda realización.

En todas las realizaciones, la relación de aspecto de cada masa térmica es la relación de la longitud media de la masa térmica con el área de flujo de la sección transversal media de la masa térmica. Pueden proporcionarse masas térmicas con diferentes relaciones de aspecto proporcionando masas térmicas de diferente área en sección transversal media. Cada una de las masas térmicas puede tener áreas en sección transversal uniformes a lo largo de su longitud. Alternativamente, cada una de las masas térmicas puede tener áreas en sección transversal variables a lo largo de su longitud. Por ejemplo, cada una de las masas térmicas puede tener secciones transversales ahusadas. Cuando una masa térmica comprende más de una célula térmica, una o más de las células térmicas puede tener secciones transversales ahusadas.

55 Las relaciones de aspecto de la menos dos de la primera, segunda y tercera masas térmicas son diferentes entre sí. Preferiblemente, las relaciones de aspecto de las tres masas térmicas son diferentes entre sí.

60 Preferiblemente, el área en sección transversal media de la tercera masa térmica es más pequeña que el área en sección transversal media de la segunda masa térmica. Preferiblemente el área en sección transversal media de la segunda masa térmica es más pequeña que el área en sección transversal media de la primera masa térmica.

65 Preferiblemente la última masa térmica a través de la que fluye el HTF durante la descarga final tiene el área en sección transversal media más pequeña de las tres masas térmicas. En este caso, dicha área de flujo más pequeña en la parte final del almacén durante la descarga permite alcanzar la eficiencia térmica óptima.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica puede comprender más de tres masas térmicas.

Cada una de las al menos tres masas térmicas puede comprender una única célula térmica o una pluralidad de células térmicas dispuestas en paralelo entre sí. Preferiblemente, la primera masa térmica comprende más células térmicas que la segunda masa térmica que, a su vez, comprende más células térmicas que la tercera masa térmica. En una realización ejemplar la primera masa térmica comprende cinco células térmicas en paralelo, la segunda masa térmica comprende cuatro células térmicas en paralelo, y la tercera masa térmica comprende una única célula térmica.

Los dispositivos y métodos de la presente invención son capaces de funcionar a diferentes tasas de carga y descarga, es decir el HTF puede tener un caudal diferente a través de las masas térmicas cuando se carga el dispositivo o cuando se descarga el dispositivo. La fase de carga puede ser de una duración más larga que la fase de descarga. Alternativamente, la fase de carga puede ser de una duración más corta que la fase de descarga. El caudal del HTF puede también variarse durante las fases de carga y descarga para maximizar la eficiencia térmica del almacén, en particular al final del proceso de carga o descarga donde los efectos pueden ser significativos. Por ejemplo, la desviación significativa de la temperatura de salida de la temperatura observada durante la mayoría de las fases o de carga o de descarga del ciclo puede reducirse aumentando el caudal hacia el final de la fase de carga o descarga del ciclo.

Consecuentemente, el dispositivo y método de almacenamiento de energía térmica de la presente invención tienen la capacidad de variar el área en sección transversal de la masa térmica disponible o el tamaño de partículas entre la carga y la descarga para que coincida con el rendimiento térmico y de flujo del almacén. El dispositivo y método también tienen la capacidad de reducir el área de flujo en sección transversal o el tamaño de partícula cerca del extremo de salida del almacén para minimizar las pérdidas finales provocadas por la parte de caudal bajo del ciclo.

La provisión de la menos tres masas térmicas separadas con diferentes relaciones de aspecto y/o tamaños de partícula media significa que el área de flujo del HTF durante la carga y descarga puede variarse para coincidir con el rendimiento térmico y de flujo del almacén. Además, puede elegirse un área de flujo reducida en el extremo de salida del almacén para minimizar los efectos finales provocados durante una parte de caudal reducido del ciclo de descarga.

Breve Descripción de los Dibujos

Se describirán ahora las realizaciones de la presente invención en detalle con referencia a las figuras en las que:

la figura 1 muestra una representación de un almacén de energía térmica genérico;
la figura 2 muestra una representación de un almacén térmico integrado con un sistema de almacenamiento de energía criogénica;
la figura 3 muestra la relación gráfica entre la transferencia de calor y el caudal de fluido, y la caída de presión y caudal de fluido;
la figura 4 muestra un gráfico que represente la temperatura del almacén térmico frente al tiempo durante la carga de un almacén de energía térmica modelado;
la figura 5 muestra un gráfico que representa la temperatura del almacén térmico frente al tiempo durante la descarga del mismo almacén de energía térmica modelado en la figura 5;
la figura 6 muestra una simulación del efecto de diferentes materiales de almacenamiento en la eficiencia térmica del almacén;
la figura 7a) muestra un dispositivo de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una realización de la presente invención durante una fase de carga;
la figura 7b) muestra el dispositivo de almacenamiento de energía térmica de la figura 7a) durante una fase de descarga inicial;
la figura 7c) muestra el dispositivo de almacenamiento de energía térmica de la figura 7a) durante una fase de descarga final;
la figura 8a) muestra un dispositivo de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con otra realización de la presente invención durante una fase de carga;
la figura 8b) muestra el dispositivo de almacenamiento de energía térmica de la figura 8a) durante una fase de descarga inicial;
la figura 8c) muestra el dispositivo de almacenamiento de energía térmica de la figura 8a) durante una fase de descarga final;
las figuras 9a) y b) muestran una masa térmica para su uso en realizaciones de la presente invención en las que la masa térmica tiene un diseño de doble piel, roturas térmicas y aislamiento interno; y
la figura 10 muestra una realización preferida de un almacén de energía térmica de acuerdo con la presente invención.

Descripción Detallada de la Invención

En una realización preferida, la presente invención aborda las necesidades identificadas anteriormente proporcionando un dispositivo y método de almacenamiento de energía térmica en el que la relación de aspecto (área de flujo con longitud) para las fases de carga y descarga del almacén puede variarse.

Por ejemplo, en el caso de un almacén térmico en un sistema de almacenamiento de energía criogénica, se requiere típicamente un periodo de carga de 4 horas para un periodo de descarga de 20 horas. Por lo tanto, los caudales durante el periodo de carga serán típicamente cinco veces mayores que los del periodo de descarga y se desea proporcionar un sistema con propiedades óptimas durante tanto la carga como la descarga.

En el caso de un sistema de almacenamiento de energía criogénica, las masas térmicas se enfrían durante el proceso de carga y después se extrae el gas frío del almacén durante el proceso de descarga. La siguiente descripción detallada es específica para un sistema de almacenamiento de energía criogénica. Sin embargo, el dispositivo y método de almacenamiento térmico descrito podría aplicarse igualmente a sistemas que almacenan calor por encima de temperaturas ambiente donde las masas térmicas se calientan durante el proceso de carga y después se extrae la energía de calor del almacén durante el proceso de descarga proporcionando gas caliente, o a sistemas que requieren un tiempo de carga más corto en relación con el tiempo de descarga.

Las figuras 7a), b) y c) muestran un dispositivo de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con una realización de la presente invención que incluye tres células de material de almacenamiento térmico. Las tres células tienen áreas en sección transversal diferentes. La primera masa térmica comprende la célula 1, la segunda masa térmica comprende la célula 2, y la tercera masa térmica comprende la célula 3. La célula 1 tiene un área en sección transversal media más grande que la célula 2 que, a su vez, tiene un área en sección transversal media más grande que la célula 3. Consecuentemente, el dispositivo mostrado en las figuras 7a), b) y c) tiene un área de flujo variable.

El dispositivo funciona de la siguiente manera:

Carga: Durante la carga como se muestra en la figura 7a) el flujo de HTF pasa a través de la primera célula 1 y después a través de las células 2 y 3. Las células 2 y 3 están dispuestas en paralelo. La célula 1 está dispuesta en serie con las células 2 y 3. El área en sección transversal de la célula 1 se elige de tal manera que se alcanza la relación de transferencia de calor/caída de presión óptima durante la carga.

Almacenamiento: Las células están aisladas unas de las otras, para evitar pérdidas convectivas del almacén de energía térmica hasta que se va a descargar el almacén.

Descarga Inicial: Durante la descarga inicial, como se muestra en la figura 7b), el flujo de HTF pasa inicialmente a través de la célula 1 y después de la célula 2, con la célula 3 siendo evitada del circuito de flujo de HTF.

Descarga Final: Después de someterse a la descarga inicial durante un periodo de tiempo, la célula 2 estará casi completamente descargada y la temperatura de salida del HTF empezará a elevarse. Durante la descarga final como se muestra en la figura 7c), la célula 1 está aislada del circuito y el flujo de salida de la célula 2 se dirige a través de la célula 3. El área de flujo en sección transversal de la célula 3 se reduce en relación a la de las células 1 y 2 para minimizar las pérdidas finales para el caudal de descarga reducido. La célula 2 está por lo tanto completamente descargada y sólo una pequeña masa del material en la célula 3 no está completamente descargado. Por lo tanto, se minimiza la cantidad de energía térmica que no se descarga del dispositivo de almacenamiento térmico. En algunos casos, no es necesario evitar la célula 1, simplificando así el circuito de flujo si la caída de presión a lo largo de la célula 1 es baja.

Las figuras 8a), b) y c) muestran un almacén térmico de acuerdo con otra realización de la invención. La realización de la figura 8 es muy similar a la de la figura 7 excepto que la primera masa térmica 100 comprende un primer banco de cinco células térmicas dispuestas en paralelo, la segunda masa térmica 120 comprende un segundo banco de cuatro células térmicas dispuestas en paralelo, y la tercera masa térmica 130 comprende una única célula térmica. Consecuentemente, en esta realización el área en sección transversal variable se logra variando el número de columnas del mismo área en sección transversal en cada masa térmica. La relación de aspecto de cada masa térmica es la relación de la longitud media de las células térmicas dentro de la masa térmica con la suma de las áreas de flujo en sección transversal medias de cada célula térmica dentro de la masa térmica.

Las vías de flujo básicas son las mismas que las descritas anteriormente en conexión con la figura 7:

Carga: Como se muestra en la figura 8b). durante la primera fase de descarga, se evita la tercera masa térmica 130.

Descarga Final: Como se muestra en la figura 8c), durante la fase final de descarga, se evita la primera masa térmica 100 y la segunda 120 y tercera 130 masas térmicas están dispuestas en serie.

Esta realización tiene la ventaja de que puede ser más simple fabricar una pluralidad de células idénticas y disponer esas células para crear masas térmicas de tamaño diferente. Además, el diseño de células múltiples permite más flexibilidad en la optimización de las características de área de flujo/caída de presión del almacén para un intervalo más amplio de caudales, ya que es simple cambiar el número de células en cada masa térmica abriendo y cerrando válvulas asociadas con cada célula. Esto puede ser útil en el caso de dispositivos de almacenamiento de potencia donde el tiempo y los caudales de carga y descarga pueden variar permitiendo a la planta funcionar a diferentes cargas. Pueden quitarse de servicio secciones del almacén para mantenimiento y reparación sin apagar el sistema completo. Además, puede usarse una fase de carga-multi-etapas, y tanto la fase de carga como la descarga pueden interrumpirse de tal manera que el sistema pueda usarse sin estar completamente cargado o descargado.

El dispositivo de almacenamiento de energía térmica comprende además una estructura de soporte para sostener las masas térmicas. La figura 9a muestra un ejemplo de una masa térmica. Cada masa térmica comprende un contenedor 140 que contiene un lecho fijo de partículas 150. El contenedor incluye una capa opcional 160 de partículas más grandes que ayudan a la distribución del flujo, y una rejilla 170 para sostener las partículas y distribuir el flujo a través de las partículas. El contenedor incluye una cámara 180 para distribuir el flujo de HTF uniformemente sobre el lecho de partículas.

Las células podrían ser circulares, hexagonales, cuadradas, romboidales, o de cualquier otra forma que pueda ser fácilmente envasadas en la estructura de soporte.

En cualquiera de las realizaciones divulgadas de la invención, cada célula térmica puede consistir de un lecho fijo de partículas esféricas o casi esféricas 150 típicamente de 1 a 25 mm de diámetro (ver figuras 9a y 9b). Las partículas pueden comprender roca. El flujo a través del lecho es insuficiente para 'fluidizar' el lecho y las partículas permanecen estáticas durante el proceso de carga y descarga. Este diseño proporciona un área superficial muy grande para la transferencia de calor entre el fluido y la masa térmica y ofrece un diseño muy barato.

El diámetro de las partículas puede variarse entre las masas térmicas para optimizar las características de caída de presión/transferencia de calor del almacén térmico. Por ejemplo, en la realización mostrada en la figura 7, la célula 3 podría llenarse con partículas que tienen un diámetro esférico equivalente medio más pequeño que tienen un área superficial más grande que las partículas en las células 1 y 2. Consecuentemente la célula 3 administrará más energía térmica más eficientemente durante la fase de descarga final del ciclo.

Para lograr una lata eficiencia térmica, es preferible minimizar las pérdidas térmicas del dispositivo de almacenamiento de energía térmica. Las pérdidas térmicas pueden ser (a) al ambiente y (b) axialmente a lo largo de la longitud del almacén durante la carga/descarga de una parte del medio de almacenamiento a otro a una temperatura diferente, o si la estructura de soporte del almacén es de una conductividad más alta que el medio de almacenamiento.

Hay dos fuentes principales de pérdida térmica que pueden controlarse:

- i) Conducción radial fuera del material de almacenamiento, a través de las paredes del almacén a la estructura de soporte y al ambiente, o a lo largo del eje del almacén;
- ii) Conducción a la base de la estructura de soporte y sus alrededores.

Por lo tanto, es deseable el aislamiento térmico de la masa térmica de la estructura de soporte. Este aislamiento puede lograrse aplicando material térmicamente aislante 190 al interior de la estructura de soporte 200 y/o roturas térmicas 210 entre la base del almacén y la estructura de soporte, como se muestra en la figura 9b. En una realización particular mostrada en la figura 9b, el aislamiento térmico interno 190 del almacén se logra por un diseño 'de doble piel' en el que la carga externa que lleva parte del almacén 200 se aísla de la masa térmica por una capa de aislamiento y una 'piel' interior delgada en contacto con la masa térmica. Soluciones alternativas incluyen la aplicación de un recubrimiento por pulverización al interior del almacén o el montaje de material de aislamiento encapsulado al interior del almacén. Un beneficio adicional de este diseño es que la estructura de soporte estará en o cerca de la temperatura ambiente permitiendo que se usen materiales estructurales de bajo coste como acero dulce.

Diseño de un Almacén Térmico Multi Célula

Una realización preferida de un dispositivo de almacenamiento de energía térmica de acuerdo con la presente invención se muestra en la figura 10. El almacén térmico está compuesto de una serie de tubos 220 (células térmicas) formadas en una configuración en 'U'. Alternativamente, los tubos podrían ser rectos, o estar formados en forma de serpentina con múltiples curvas. Los tubos 220 se llenan con el material de almacenamiento térmico. Preferiblemente los tubos 220 se llenan completamente sin dejar un hueco a través del cual pueda fluir el

HTF sin transferir calor entre el medio de almacenamiento térmico y el HTF. Esto significa generalmente que se evita preferiblemente una orientación completamente horizontal. en la realización mostrada en la figura 10 se proporciona un punto de llenado 230 en la parte superior de cada curva.

5 Los tubos 220 están agrupados juntos en un colector común 240 y, por medio de un conjunto de válvulas, pueden conectarse diferentes tubos 220 al colector 240 en un momento. Durante la carga, un primer conjunto 250 de cinco tubos 220 (la primera masa térmica) están conectados en serie con un segundo conjunto de 260 de cuatro tubos 220 (la segunda masa térmica) y un tercer tubo 270 (la tercera masa térmica). El segundo conjunto 260 y el
10 tercer tubo 270 están dispuestos en paralelo. Se bombea un HTF a través del dispositivo a través de una tubería de entrada 280. Durante la primera fase de descarga, el primer conjunto 250 de cinco tubos 220 está dispuesto en serie con el segundo conjunto 260 de cuatro tubos 220. El tercer tubo 270 está aislado del circuito de flujo. En la etapa final de descarga, el tercer tubo 270 se introduce en serie con el primer y segundo conjuntos 250, 260 de tubos 220. Se incluye una derivación 290 para conectar el tercer tubo 270 en el circuito mientras se mantiene la tubería de salida 300 en la misma localización.

15 El diseño puede mejorarse adicionalmente añadiendo reguladores o válvulas a cada tubo para permitir que el flujo de HTF se varíe entre cada tubo, y los tubos individuales se aislen durante los ciclos de carga y descarga. Esto permite que la velocidad local del HTF se varíe entre cada tubo para optimizar la tasa de transferencia de calor de los tubos para maximizar la eficiencia térmica del almacén térmico. Esto es útil ya que permite que se acomode un intervalo más amplio de flujos de carga y descarga. Por ejemplo, si el flujo de carga es bajo, o el periodo de carga es más corto de lo esperado, puede aislarse parte del almacén de tal manera que solamente se carguen unos pocos tubos 220, mejorando la eficiencia de almacenamiento.

20 Además, es a menudo beneficioso para variar el caudal de HTF a granel durante o la fase de carga o la de descarga, en particular hacia el final de la fase de carga o de descarga. En referencia a la figura 5, se observa a menudo que la temperatura en la salida del almacén aumenta hacia el final de la fase de descarga del ciclo. Aumentar el caudal de HTF hacia el final del ciclo de descarga permite transferencia de calor más efectiva del almacén y temperatura más uniforme en la salida del almacén durante el ciclo de descarga. Esto aumentará la tasa a la que se descarga el almacén y puede resultar en un tiempo de descarga más corto no deseado. Esto puede
30 contrarrestarse reduciendo el caudal del HTF durante la etapa temprana de la fase de descarga para reducir la tasa de transferencia de calor. La optimización cuidadosa del caudal durante la fase de descarga del ciclo puede proporcionar una temperatura de descarga más uniforme durante el ciclo.

35 Se entenderá por supuesto que la presente invención se ha descrito a modo de ejemplo, y que pueden hacerse modificaciones de detalles dentro del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones siguientes:

40

Reivindicaciones

1. Un dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) que comprende:

- 5 una primera masa térmica (100);
una segunda masa térmica (120); y
una tercera masa térmica (130);
en el que
- 10 las relaciones de aspecto de al menos dos de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas son diferentes entre sí, la relación de aspecto de una masa térmica siendo la relación de la longitud media de la masa térmica con el área de flujo en sección transversal media de la masa térmica; y
- 15 una disposición de conductos y válvulas configurada para dirigir un fluido de transferencia de calor para que pase a través de una combinación de una o más de las masas térmicas (100; 120; 130) para transferir energía térmica a la masa térmica desde el fluido de transferencia de calor y desde la masa térmica al fluido de transferencia de calor,
en el que la disposición de los conductos y válvulas es tal que las masas térmicas (100; 120; 130) pueden aislarse unas de las otras, **caracterizado porque** la disposición de conductos y válvulas es tal que el fluido de transferencia de calor puede dirigirse a través de dos o más de las masas térmicas (100; 120; 130) en serie.
- 20
2. El dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) de la reivindicación 1, en el que la disposición de conductos y válvulas está configurada para dirigir el fluido de transferencia de calor para que pase a través de:
- 25 i) todas de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas, y alternativamente
ii) dos de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas, y alternativamente
iii) una de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas.
- 30 3. El dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) de cualquier reivindicación anterior que comprende además una estructura de soporte (200) para sostener las masas térmicas (100; 120; 130).
4. El dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) de cualquier reivindicación anterior que comprende además material térmicamente aislante (190) para aislar cada masa térmica, en el que preferiblemente el material térmicamente aislante (190) o:
- 35 a) se aplica al interior de la estructura de soporte (100) y/o se proporcionan rupturas térmicas (210) entre una base de cada masa térmica y la estructura de soporte (200);
b) cuando depende de la reivindicación 3, comprende un diseño de doble piel en el que la estructura de soporte (200) se aísla de cada masa térmica por una capa de aislamiento y una piel interior delgada en contacto con cada masa térmica; o
c) comprende un recubrimiento por pulverización aplicado al interior de la estructura de soporte (200), o material de aislamiento encapsulado montado en el interior de la estructura de soporte.
- 40
5. El dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) de la reivindicación 1 en el que se proporciona una válvula en una entrada y salida de cada masa térmica.
- 45
6. El dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) de cualquier reivindicación anterior en el que la disposición de conductos y válvulas es tal que el fluido de transferencia de calor puede dirigirse o:
- 50 a) a través de dos o más de las masas térmicas (100; 120; 130) en paralelo, o
b) a través de una primera y segunda de las masas térmicas (100; 120; 130) en paralelo, y una tercera de las masas térmicas (100; 120; 130) en serie con la primera y segunda masas térmicas.
- 55 7. Un método para almacenar energía que comprende:
- proporcionar un dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) que comprende:
- 60 una primera masa térmica (100),
una segunda masa térmica (120), y
una tercera masa térmica (130),
en el que:
- 65 las relaciones de aspecto de la menos dos de la primera, segunda y tercera masas térmicas (100; 120;

- 130) son diferentes entre sí, la relación de aspecto de una masa térmica siendo la relación de la longitud media de la masa térmica con el área de flujo en sección transversal media de la masa térmica; y proporcionar una disposición de conductos y válvulas configuradas para dirigir un fluido de transferencia de calor para que pase a través de una combinación de una o más de las masas térmicas (100; 120; 130) para transferir energía térmica a la masa térmica desde el fluido de transferencia de calor y desde la masa térmica al fluido de transferencia de calor, en el que la disposición de conductos y válvulas es tal que las masas térmicas (100; 120; 130) pueden aislarse unas de otras;
- 5
- 10 cargar el dispositivo de almacenamiento de energía térmica con energía térmica dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas; después almacenar la energía térmica en el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) durante un periodo de tiempo; después
- 15 descargar al menos una parte de la energía térmica del dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas, **caracterizado porque** la disposición de conductos y válvulas es tal que el fluido de transferencia de calor puede dirigirse a través de dos o más de las masas térmicas (100; 120; 130) en serie, y **porque** el paso de cargar y/o el paso de descargar comprende un proceso multi-etapa.
- 20 8. El método de la reivindicación 7, en el que el paso de descargar comprende:
- 25 descargar una parte de la energía térmica del dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) dirigiendo un fluido de transferencia de calor a través de una primera configuración de una o más de las masas térmicas (100; 120; 130); y después
- descargar una parte adicional de la energía térmica del dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) dirigiendo un fluido de transferencia de calor de una segunda configuración de una o más de las masas térmicas (100; 120; 130), en el que la primera configuración no es la misma que la segunda configuración.
9. El método de la reivindicación 7 ó 8, en el que el paso de cargar comprende:
- 30 cargar una parte de la energía térmica en el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) dirigiendo el fluido de transferencia de calor a través de una tercera configuración de una o más de las masas térmicas (100; 120; 130); y después
- 35 cargar una parte adicional de la energía térmica en el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) dirigiendo el fluido de transferencia de calor a través de una cuarta configuración de una o más de las masas térmicas (100; 120; 130), en el que la tercera configuración no es la misma que la cuarta configuración.
10. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 en el que el fluido de transferencia de calor comprende un gas o un líquido.
- 40 11. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 en el que cada una de las masas térmicas comprende una única célula térmica (1; 2; 3) o una pluralidad de masas térmicas (1; 2; 3) dispuestas en paralelo entre sí.
- 45 12. El dispositivo de la reivindicación 11 cuando depende de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, o el método de la reivindicación 11 cuando depende de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la primera masa térmica (100) comprende más células térmicas (1; 2; 3) que la segunda masa térmica (120) que, a su vez, comprende más células térmicas (1; 2; 3) que la tercera masa térmica (130).
- 50 13. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 en el que cada célula térmica (1; 2; 3) comprende una combinación de:
- 55 i) un lecho fijo de partículas sólidas (150) a través del cual puede pasar el fluido de transferencia de calor para llevar la energía térmica a y desde el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90).
 ii) un lecho fluido de partículas sólidas (150) dispuesto alrededor de al menos un conducto a través del cual puede pasar el fluido de transferencia de calor; y/o, cuando depende de la reivindicación 11 ó 12,
 iii) una matriz de masa sólida que incluye una pluralidad de canales a través de los cuales puede pasar el fluido de transferencia de calor, o
 iv) un volumen de material de cambio de fase.
- 60 14. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas comprenden partículas sólidas (150) y el diámetro de las partículas en al menos dos de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas es el mismo o diferente entre sí.
- 65 15. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9

en el que cada masa térmica (100; 120; 130) tiene una relación de capacidad con la conductividad mayor de 180 s/mm, preferiblemente mayor de 500 s/mm.

5 **16.** El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 en el que cada masa térmica comprende roca.

10 **17.** El método de la reivindicación 7 ó 8 en el que el paso de cargar el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) comprende dirigir el fluido de transferencia de calor a través de la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas, en el que o:

- a) la segunda (120) y tercera (130) masas térmicas están dispuestas en paralelo, y la primera (100) masa térmica está dispuesta en serie con la segunda (120) y tercera (130) masas térmicas; o
- b) la primera (100), segunda (120) y tercera (130) masas térmicas están dispuestas en serie.

15 **18.** El método de la reivindicación 8 o cualquier reivindicación dependiente de la reivindicación 8 en el que la primera configuración de masas térmicas (100; 120; 130) comprende la primera (100) y la segunda (120), o la segunda (120) y la tercera (130), o la primera (100), la segunda (120) y la tercera (130) masas térmicas en serie.

20 **19.** El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera las reivindicaciones 7 a 9 en el que las masas térmicas (100; 120; 130) tienen diferentes áreas en sección transversal.

25 **20.** El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 o el método de cualquiera las reivindicaciones 7 a 9 en el que el área en sección transversal de la tercera (130) masa térmica es más pequeña que el área en sección transversal de la segunda (120) masa térmica; y/o en el que el área en sección transversal de la segunda (120) masa térmica es más pequeña que el área en sección transversal de la primera (100) masa térmica.

30 **21.** El método de la reivindicación 8 o cualquier reivindicación dependiente de la reivindicación 8 en el que la última masa térmica a través de la que fluye el fluido de transferencia de calor durante la descarga final tiene el área en sección transversal más pequeña de las tres masas térmicas (100; 120; 130).

35 **22.** El método de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, 17, 18 ó 21, o el método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, 19 ó 20, cuando dependen de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la velocidad del fluido de transferencia de calor durante la carga es diferente a la velocidad del fluido de transferencia de calor durante la descarga.

40 **23.** Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, 17, 18, 21 ó 22, o el método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, 19 ó 20, cuando dependen de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el caudal del fluido de transferencia de calor a través de las masas térmicas (100; 120; 130) se varía durante la fase de carga y/o descarga del ciclo.

45 **24.** Un sistema de almacenamiento de energía criogénica que comprende:

el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, 10 a 16, ó 19 ó 20 en el que el dispositivo está configurado para almacenar energía térmica fría liberada durante la generación de energía, y descarga la energía térmica fría para proporcionar exergía fría para licuar criógeno y/o para proporcionar refrigeración para procesos co-localizados.

50 **25.** Un sistema de generación de energía criogénica que comprende:

el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (90) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, 10 a 16, ó 19 ó 20 en el que el dispositivo está configurado para almacenar energía térmica caliente de una fuente de calor residual, y descargar la energía térmica caliente durante la generación de electricidad.

55

Figura 1

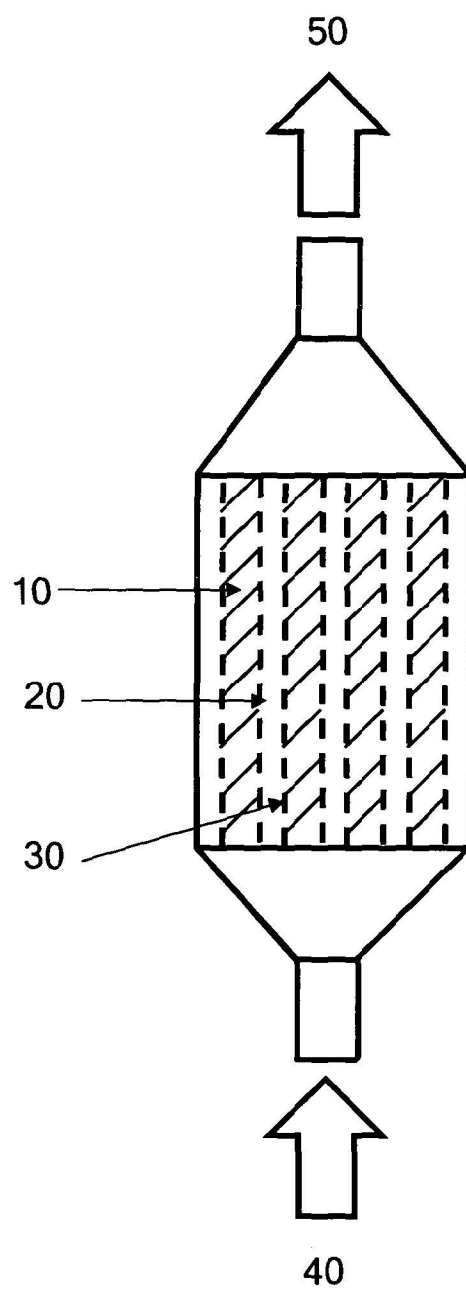


Figura 2

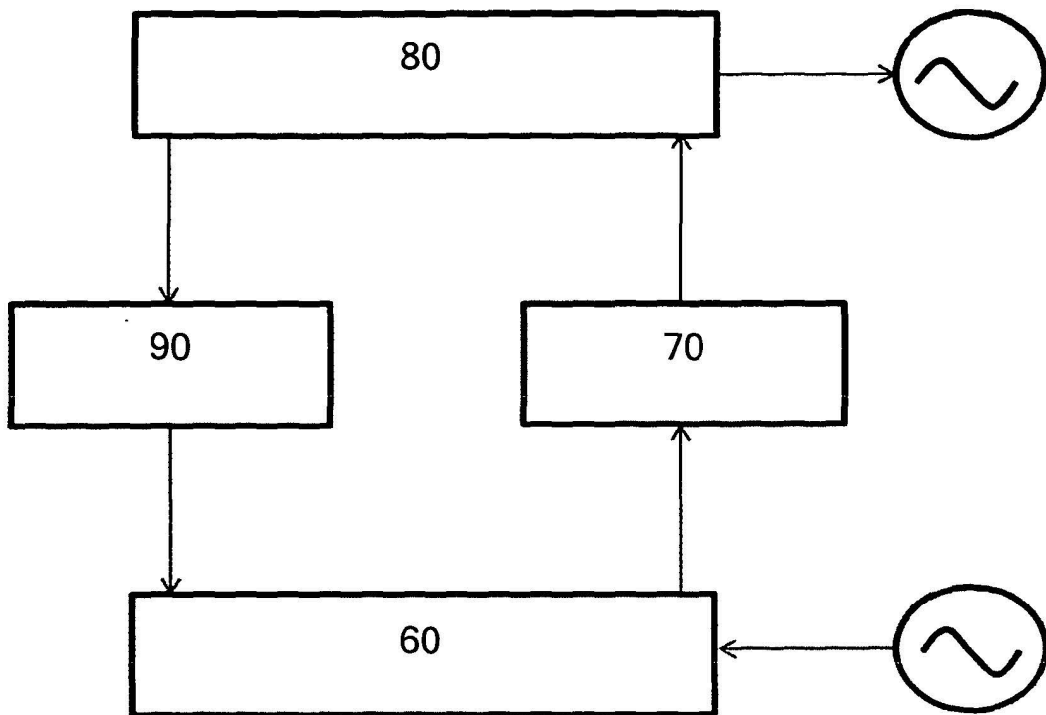


Figura 3

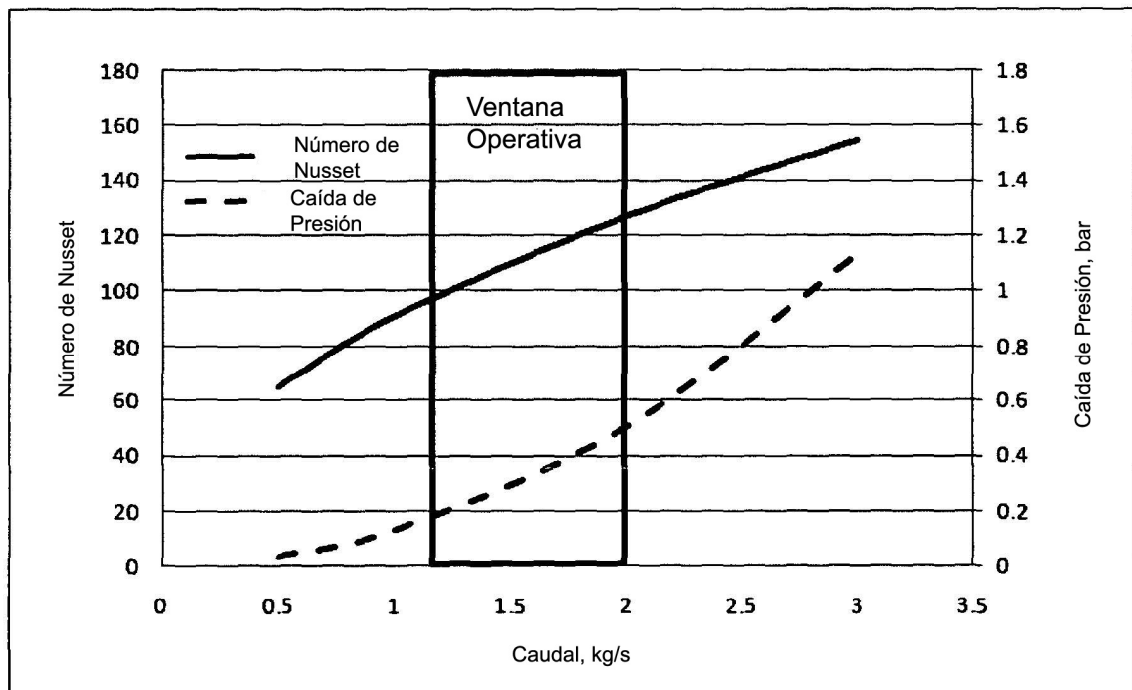


Figura 4

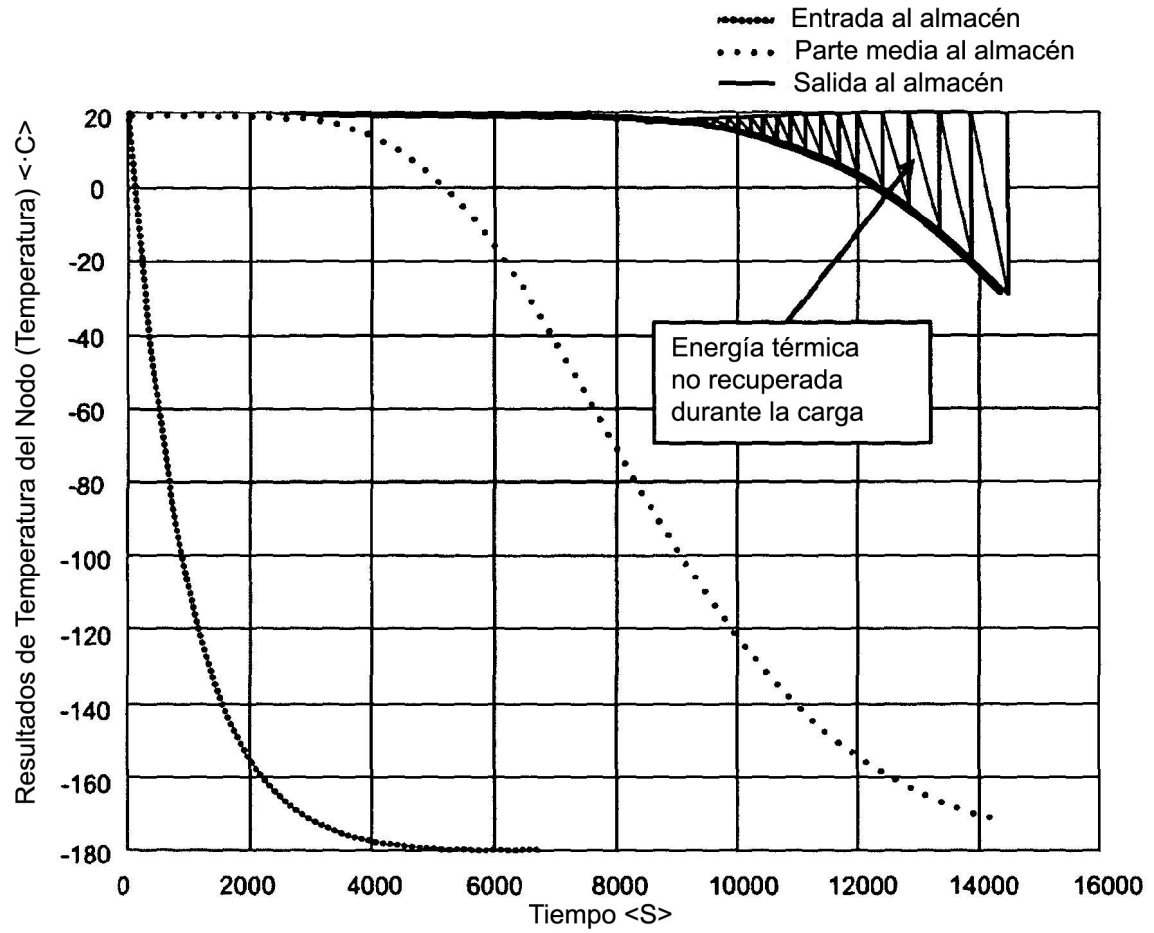


Figura 5

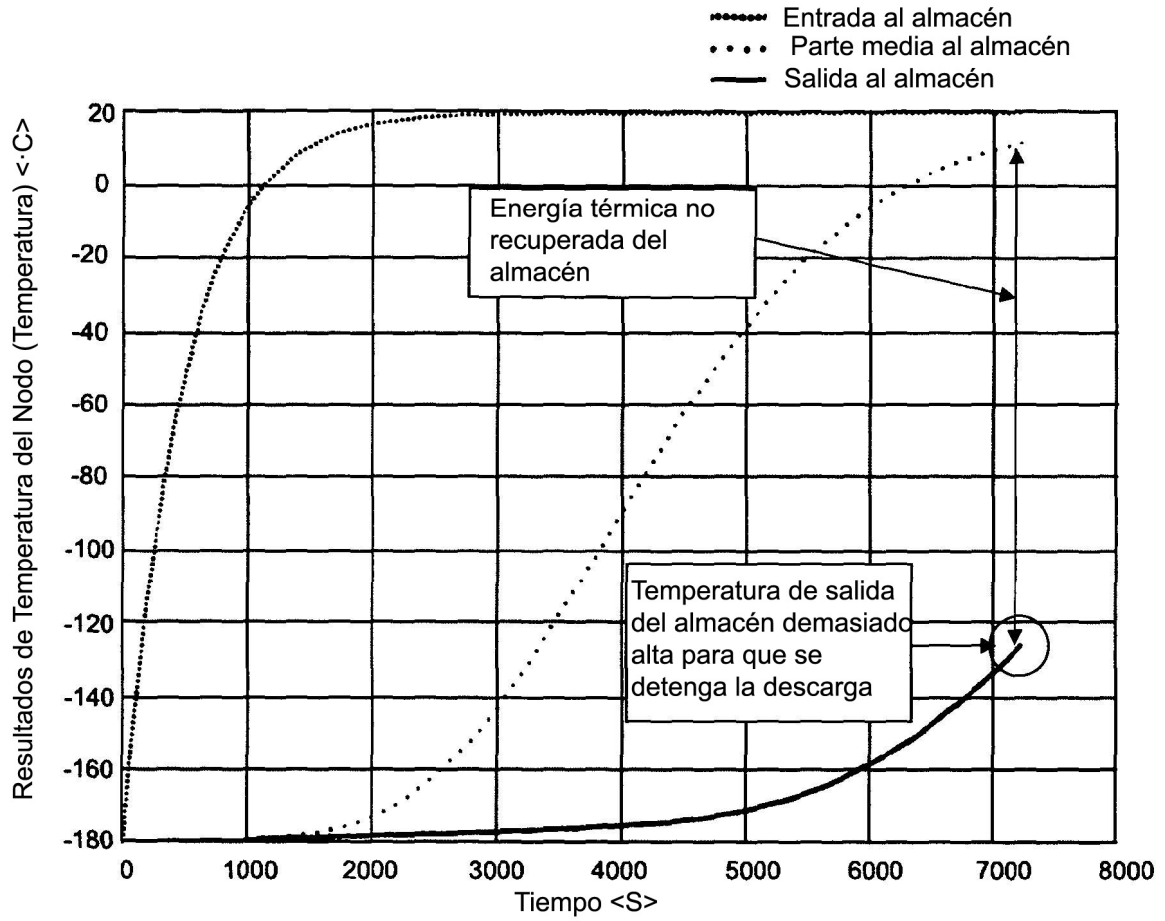


Figura 6

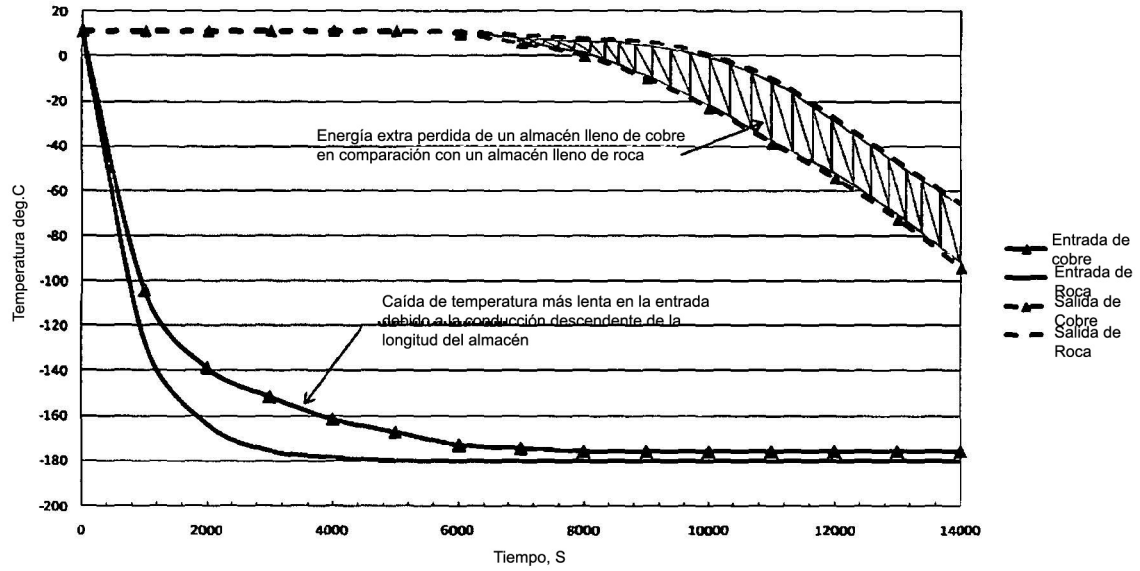


Figura 7a)

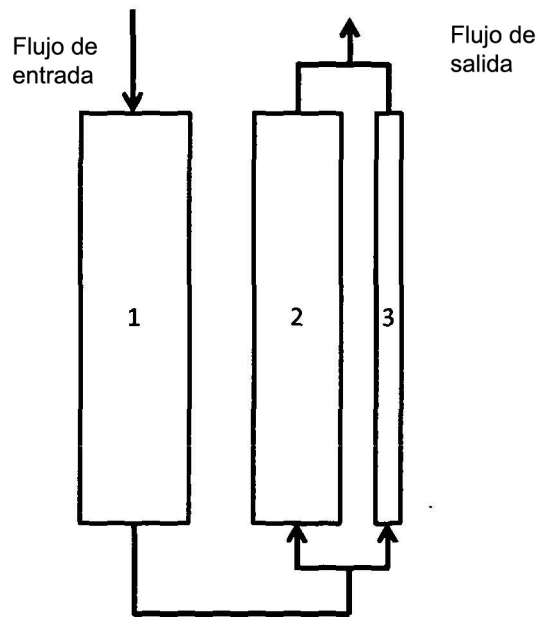


Figura 7b)

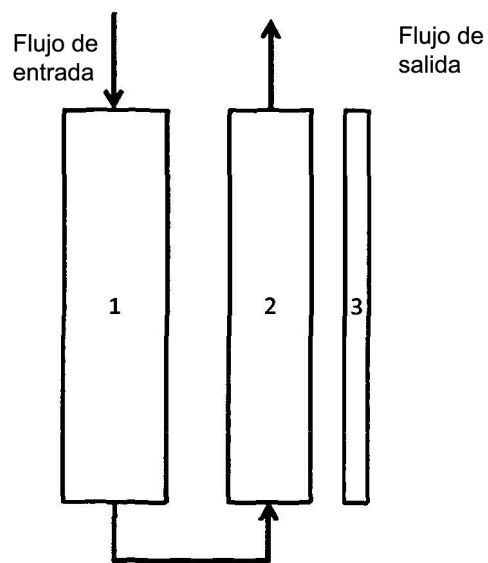


Figura 7c)

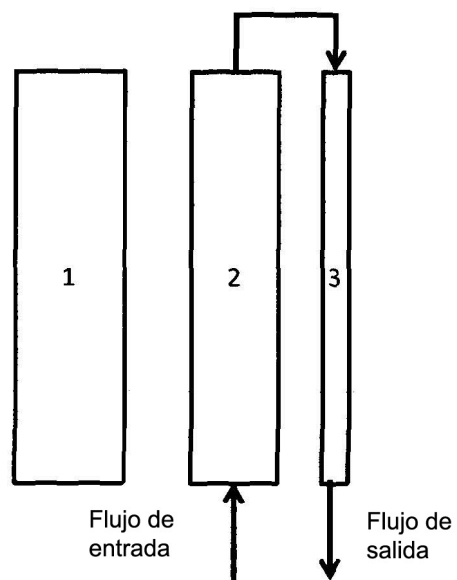


Figura 8a)

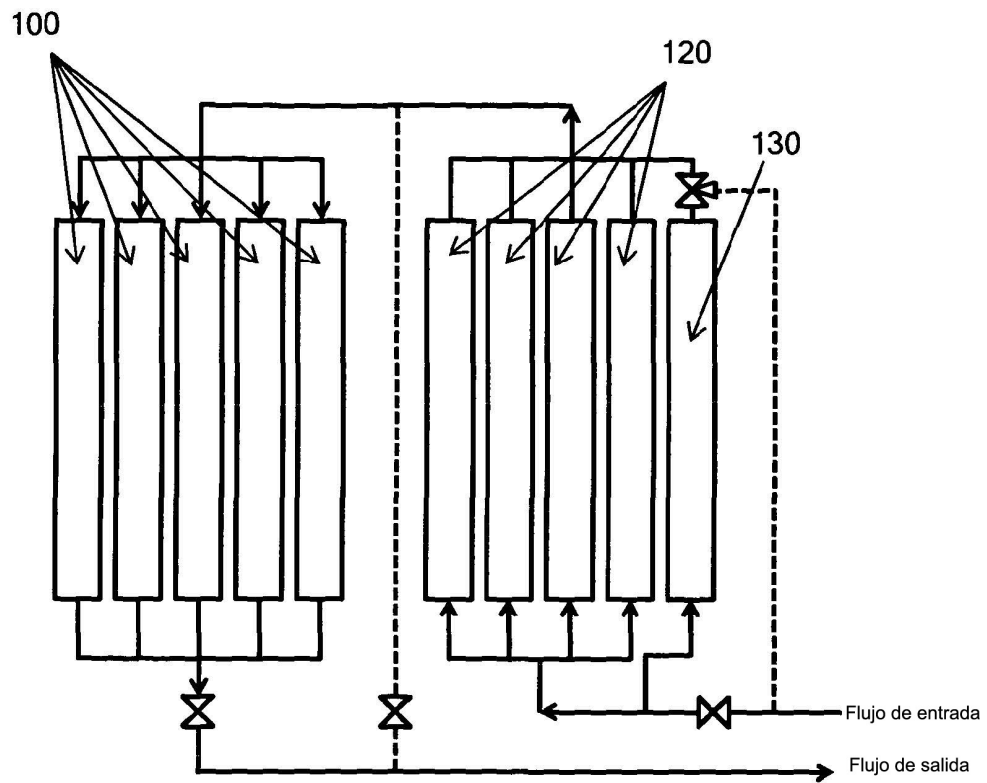


Figura 8b)

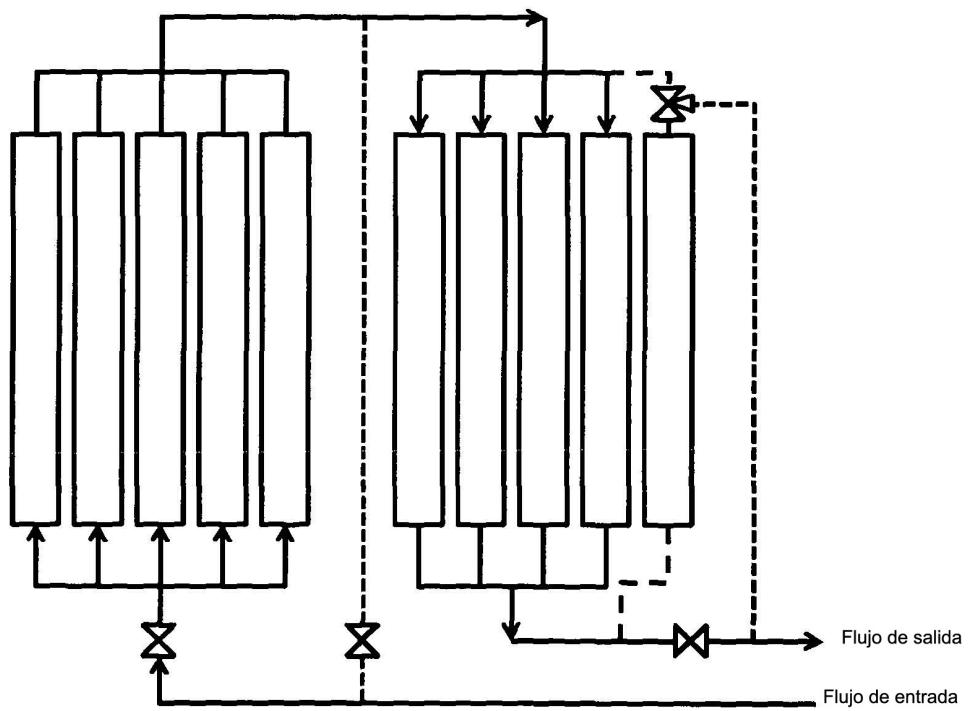


Figura 8c)

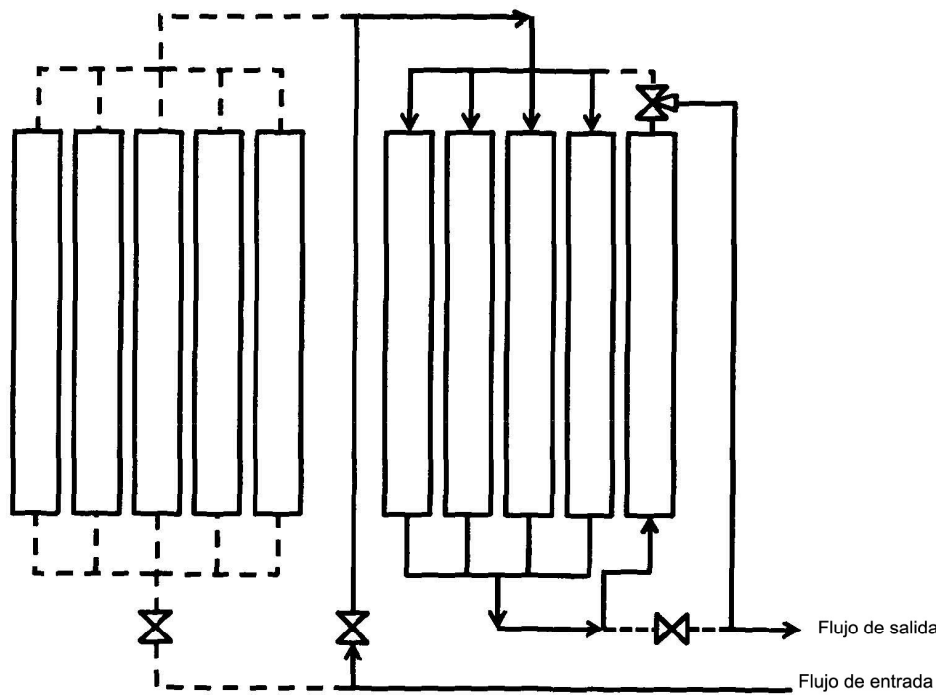


Figura 9a

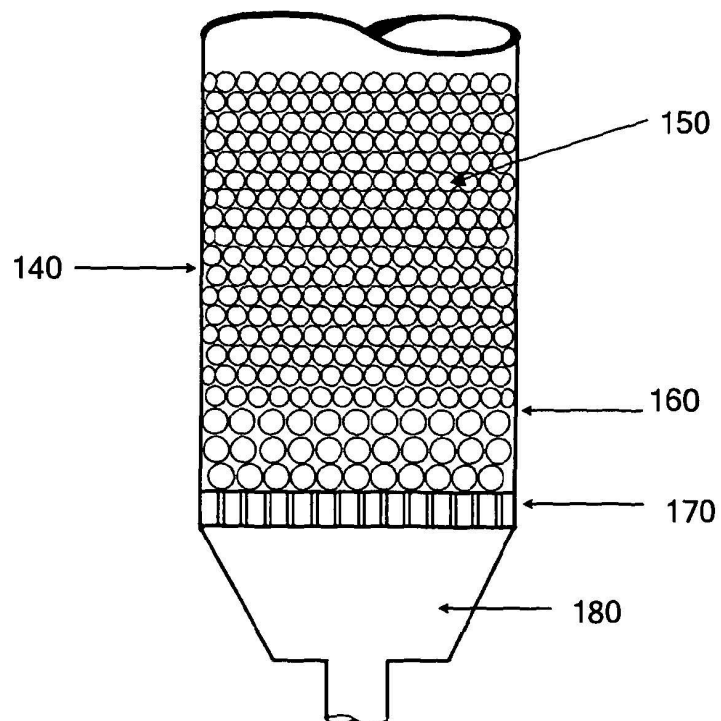


Figura 9b

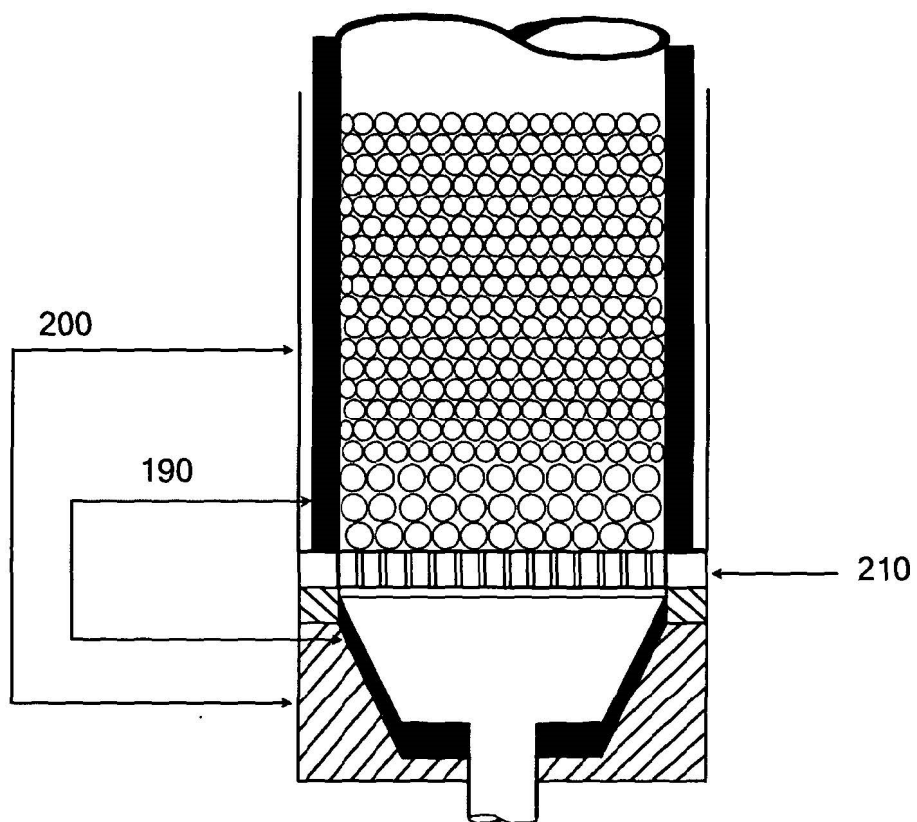


Figura 10

