

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 661**

51 Int. Cl.:

**F28F 27/02** (2006.01)

**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: **30.01.2017 PCT/EP2017/051931**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.08.2017 WO17140481**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2017 E 17701727 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 3417230**

54 Título: **Sistema y procedimiento de almacenamiento y restitución de calor que comprende un lecho de partículas y medios de regulación térmica**

30 Prioridad:

**19.02.2016 FR 1651353**

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

**14.07.2020**

73 Titular/es:

**IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)  
1 & 4 avenue de Bois-Préau  
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**SANZ, ELENA;  
NASTOLL, WILLI y  
PLAIS, CECILE**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 773 661 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 y procedimiento de almacenamiento y restitución de calor que comprende un lecho de partículas y medios de regulación térmica

La presente invención se refiere al campo del almacenamiento y la restitución de calor, en particular para el almacenamiento de calor en un sistema o un procedimiento de tipo AACAES (del inglés «Advanced Adiabatic-Compressed Air Energy Storage»). El documento WO 2013/015834 describe un sistema de almacenamiento y restitución de calor según el preámbulo de la reivindicación 1.

En un sistema de almacenamiento de energía por aire comprimido (CAES), la energía, que se desea usar en otro momento, se almacena en forma de aire comprimido. Para el almacenamiento, una energía, en particular eléctrica, mueve compresores de aire, y para el desalmacenamiento, el aire comprimido mueve turbinas, que pueden estar conectadas con un generador eléctrico. El rendimiento de esta solución no es óptimo ya que una parte de la energía del aire comprimido se encuentra en forma de calor que no se usa. De hecho, en los procedimientos CAES, solo se usa la energía mecánica del aire, es decir, se rechaza todo el calor producido durante la compresión. A modo de ejemplo, se recalienta aire comprimido a 8 MPa (80 bar) durante la compresión hasta aproximadamente 150°C, pero se enfría antes del almacenamiento. Además, el rendimiento de un sistema CAES no es óptimo, ya que después el sistema necesita calentar el aire almacenado para realizar la expansión del aire. De hecho, si el aire se almacena a 8 MPa (80 bar) y a temperatura ambiente y si se desea recuperar la energía por una expansión, la descompresión del aire sigue de nuevo una curva isoentrópica, pero esta vez a partir de las condiciones iniciales de almacenamiento (aproximadamente 8 MPa y 300 K, es decir, aproximadamente 27°C). Por lo tanto, el aire se enfría hasta temperaturas no realistas (83 K, es decir, -191°C). Así pues, es necesario recalentarlo, lo que puede hacerse con ayuda de un quemador de gas, u otro carburante.

Actualmente existen varias variantes para este sistema. Se pueden citar en concreto los sistemas y procedimientos siguientes:

- ACAES (del inglés "Adiabatic Compressed Air Energy Storage") en el que el aire se almacena a alta temperatura debido a la compresión. Sin embargo, este tipo de sistema requiere un sistema de almacenamiento específico, voluminoso y costoso (almacenamiento adiabático).
- AACAES (del inglés, "Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage") en el que el aire se almacena a temperatura ambiente, y el calor debido a la compresión también se almacena por separado en un sistema de almacenamiento de calor TES (del inglés, "Thermal Energy Storage"). El calor almacenado en el sistema TES se usa para calentar el aire antes de su expansión. Según determinados diseños planteados, el calor se almacena en el sistema de almacenamiento por medio de partículas sólidas.

Además, dichos sistemas de intercambio de calor se usan en otros campos: almacenamiento de la energía solar, marina, procedimientos de metalurgia, etc.

Uno de los criterios de diseño de los sistemas de intercambio y almacenamiento de calor es su capacidad para controlar la estratificación térmica (o termoclina) desde bajas temperaturas hacia temperaturas elevadas. De hecho, el rendimiento y la eficacia de almacenamiento de calor dependen de ello.

Con este objetivo, se han desarrollado varios tipos de sistema de intercambio de calor. Ciertos tipos de sistema de intercambio de calor se refieren a un lecho fijo de partículas sólidas, un lecho móvil de partículas sólidas, en el que los intercambios térmicos de fluidos circulan a favor de corriente, etc. Sin embargo, estos intercambios de calor no son óptimos en términos de eficacia y de rendimiento.

Por ejemplo, la solicitud de patente FR2990502 se refiere a un reservorio de almacenamiento de calor de estratificación térmica mejorada. Para este sistema de almacenamiento de calor, el intercambio de calor se realiza por medio de una matriz de partículas sólidas distribuidas en varios niveles de lecho fijo, y de un fluido caloportador que atraviesa los espacios entre los niveles. Este diseño permite una homogeneización de la temperatura en el sistema de almacenamiento. Sin embargo, este sistema no permite un buen mantenimiento del gradiente térmico en el recipiente.

Según otro ejemplo descrito en la solicitud de patente WO 2013015834, el sistema consiste en controlar la transferencia del gas entre diferentes lechos fijos o diferentes recipientes, cuando la temperatura de salida del gas es inferior a un umbral, es decir, cuando se ha almacenado una determinada cantidad de calor en el lecho fijo. Sin embargo, este sistema es voluminoso, y no parece óptimo en términos de eficacia.

La figura 1 ilustra un sistema de almacenamiento y restitución de calor 1 clásico según la técnica anterior, durante una fase de carga (almacenamiento) CH, y durante una fase de descarga (restitución) DE. Este sistema de almacenamiento y restitución de calor 1 tiene sustancialmente una forma de columna que incluye un lecho fijo de partículas 2, y medios de inyección y/o trasvase 3 del fluido que intercambiarán calor con las partículas. Según esta configuración, para la carga, el fluido entra caliente, a una temperatura T1, por la parte superior de la columna, y sale frío (enfriado por las partículas que almacenan una parte del calor del fluido), a una temperatura T2 (T2<T1), por el

fondo de la columna. Para la descarga, el fluido entra frío, a una temperatura T2, por el fondo de la columna, y sale caliente (calentado por las partículas que restituyen una parte del calor de las partículas), a una temperatura T1. Para esta realización de la técnica anterior, no se impone ninguna temperatura en el lecho de partículas, por consiguiente, estas temperaturas cambian en el curso del tiempo, lo que no permite una eficacia óptima del sistema de almacenamiento y restitución de calor.

La figura 6 presenta el perfil térmico «tipo» del sistema de almacenamiento y restitución de calor (TES) en lecho fijo de partículas, ilustrado en la figura 1. En esta figura, el «lado caliente» (entrada y salida del fluido caliente) está a la izquierda, y el «lado frío» (entrada y salida del fluido frío) está a la derecha. En esta figura, la curva Tch en trazo continuo corresponde al perfil de la temperatura durante la carga, y la curva Tde, en trazo discontinuo, representa el perfil de la temperatura durante la descarga. Se establece un gradiente entre los dos lados del TES, pero este gradiente se desplaza a lo largo del lecho de partículas durante los ciclos de carga y de descarga. Existe así una variación en el valor de temperatura en el lado caliente (y en el lado frío) en función del tiempo (fase en el ciclo). En la fase de descarga, el fluido no puede así recuperar toda la energía almacenada, y durante la fase de carga el fluido en la salida del TES no se enfría lo suficiente. Además, este fenómeno se amplifica con el tiempo, teniendo tendencia el gradiente a aplanarse hasta alcanzar un estado semiestacionario. La consecuencia de este fenómeno es una disminución en la eficacia global del sistema (se recupera menos energía). Además, en el caso de uso del sistema de almacenamiento y restitución de calor para un procedimiento de tipo AACAES, se constata igualmente una disminución de la estabilidad del procedimiento AACAES, que debe operar con temperaturas de entrada en la turbina y en el sistema de almacenamiento del aire comprimido que son variables. Así, la eficacia de las turbinas y de los compresores del procedimiento del tipo AACAES se reduce, ya que depende de la temperatura de entrada.

Para paliar estos inconvenientes, la presente invención se refiere a un sistema de almacenamiento y restitución de calor que comprende al menos un lecho de partículas de almacenamiento de calor. El sistema incluye, además, en cada extremo del lecho fijo, un medio de regulación térmica de las partículas. Así, es posible regular la temperatura en las entradas/salidas del lecho fijo, lo que permite un buen mantenimiento del gradiente térmico en el lecho fijo, que asegura de esta forma una mejor transferencia térmica durante la carga o la descarga de calor.

#### **El sistema y el procedimiento según la invención**

La invención se refiere a un sistema de almacenamiento y restitución de calor que comprende al menos un lecho de partículas de almacenamiento de calor, y medios de inyección y de trasvase de un fluido en dicho lecho de partículas. Dicho sistema de almacenamiento y restitución de calor incluye en cada extremo de dicho lecho de partículas un medio de regulación térmica de dichas partículas.

Según una realización de la invención, dicho sistema de almacenamiento incluye un primer medio de regulación térmica capaz de calentar dichas partículas en un primer extremo de dicho lecho de partículas, y un segundo medio de regulación térmica capaz de enfriar dichas partículas en un segundo extremo de dicho lecho de partículas.

Según una implementación, dicho medio de regulación térmica incluye medios de calentamiento y/o de enfriamiento de dichas partículas.

Según un aspecto, dichos medios de calentamiento y dichos medios de enfriamiento de los medios de regulación térmica primero y segundo están conectados por medio de un dispositivo de bomba de calor.

De acuerdo con una concepción, dichos medios de calentamiento y/o de enfriamiento de dichas partículas comprenden un intercambiador de calor y/o una resistencia eléctrica y/o medios de circulación de un fluido térmico.

Según una variante, dichos medios de calentamiento y/o de enfriamiento están situados dentro de dicho lecho de partículas.

Alternativamente, dichos medios de calentamiento y/o de enfriamiento están situados en la periferia de dicho lecho de partículas.

De acuerdo con una característica, dicho lecho fijo incluye una capa de material aislante térmico, dentro de dicho lecho de partículas, que delimita dicho medio de regulación térmica.

Ventajosamente, dicho sistema de almacenamiento y restitución de calor incluye medios de medida de la temperatura de dichas partículas.

Preferentemente, dicho fluido es un gas, en particular aire.

De forma ventajosa, dichas partículas son partículas de material de cambio de fase.

Además, la invención se refiere a un sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido que incluye al menos un medio de compresión del gas, al menos un medio de almacenamiento de gas comprimido, al

menos un medio de expansión de dicho gas comprimido para generar una energía y al menos un sistema de almacenamiento y restitución de calor según cualquiera de las características anteriores.

Además, la invención se refiere a un procedimiento de almacenamiento de calor, que incluye las etapas siguientes:

- a) se hace circular un fluido en un lecho de partículas de almacenamiento de calor de un sistema de almacenamiento y restitución de calor según cualquiera de las características anteriores; y
- b) se almacena una parte del calor de dicho fluido en dichas partículas, y se regula la temperatura de dichas partículas en al menos un extremo de dicho lecho de partículas.

Además, la invención se refiere a un procedimiento de restitución del calor, que incluye las etapas siguientes:

- a) se almacena calor en un lecho de partículas de almacenamiento de calor de un sistema de almacenamiento y restitución de calor según cualquiera de las características anteriores, regulando la temperatura de dichas partículas en al menos un extremo de dicho lecho de partículas; y
- b) se hace circular un fluido en dicho lecho de partículas para restituir dicho calor de dichas partículas a dicho fluido.

Además, la invención se refiere a un procedimiento de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido, que comprende las etapas siguientes por medio de un sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido según las características anteriores:

- a) se comprime un gas;
- b) se enfría un gas en un sistema de almacenamiento y restitución de calor;
- c) se almacena dicho gas enfriado;
- d) se calienta dicho gas enfriado en dicho sistema de almacenamiento y restitución de calor; y
- e) se expande dicho gas comprimido calentado para generar una energía.

Según una realización, entre las etapas de enfriamiento del gas y de calentamiento del gas, se regula la temperatura en al menos un extremo de dicho lecho de partículas.

De acuerdo con una implementación, en la etapa b), se regula la temperatura de dicho lecho de partículas calentando dichas partículas en el extremo de dicho lecho de partículas por el que sale dicho gas.

Ventajosamente, en la etapa d), se regula la temperatura de dicho lecho de partículas enfriando dichas partículas en el extremo de dicho lecho de partículas por el que sale dicho gas.

### Presentación breve de las figuras

Otras características y ventajas del procedimiento según la invención se pondrán de manifiesto con la lectura de la siguiente descripción de ejemplos no limitativos de realizaciones, con referencia a las figuras anexas y descritas a continuación.

La figura 1, ya descrita, ilustra un sistema de almacenamiento y restitución de calor según la técnica anterior, para una fase de carga y para una fase de descarga.

La figura 2 ilustra un sistema de almacenamiento y restitución de calor según una primera realización de la invención.

La figura 3 ilustra un sistema de almacenamiento y restitución de calor según una segunda realización de la invención.

La figura 4 ilustra un sistema de almacenamiento y restitución de calor según una tercera realización de la invención.

La figura 5 ilustra un ciclo de uso de un sistema de almacenamiento y restitución de calor según una realización de la invención.

Las figuras 6 y 7 representan la termoclina dentro de un sistema de almacenamiento de calor, para la carga y para la descarga, respectivamente para un sistema de almacenamiento según la técnica anterior y según la invención.

La figura 8 ilustra un sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido según una realización de la invención.

### Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de almacenamiento y restitución de calor. Según la invención, el sistema de almacenamiento y restitución de calor comprende al menos un lecho de partículas de almacenamiento de calor. El sistema según la invención permite almacenar el calor que proviene de un fluido caliente, realizándose el almacenamiento mediante partículas de almacenamiento de calor. El sistema permite igualmente restituir el calor almacenado en las partículas a un fluido frío. Se denomina lecho de partículas a un conjunto de partículas dispuestas de manera aleatoria. El lecho de partículas puede ser fijo, móvil o fluidizado.

5 Las partículas sólidas de almacenamiento de calor permiten el paso del fluido en el lecho de partículas, y durante este paso, se intercambia calor entre el fluido y las partículas. Este paso del fluido en el lecho de partículas puede ser axial o radial. Para el paso del fluido en el lecho de partículas, el sistema incluye medios de inyección y de trasvase del fluido. Preferentemente, estos medios de inyección y de trasvase están previstos en cada extremo del sistema de almacenamiento y restitución de calor, de manera que el fluido atraviese el lecho.

10 De acuerdo con la invención, el sistema de almacenamiento y restitución de calor incluye en cada extremo un medio de regulación térmica de las partículas. Así, es posible controlar la temperatura de las partículas en cada extremo del lecho. Cada medio de regulación térmica asegura una regulación térmica de una porción de las partículas del lecho. Este control de la temperatura permite una optimización del almacenamiento de calor, imponiendo una temperatura a las partículas, por ejemplo, después de la carga o la descarga del sistema de almacenamiento y restitución de calor. Así, se optimiza la eficacia y el rendimiento del sistema de almacenamiento y restitución de calor.

15 Según una primera implementación, el sistema de almacenamiento y restitución de calor comprende un lecho fijo de partículas. Se denomina lecho fijo a una disposición de partículas de almacenamiento de calor, en la que las partículas están inmóviles.

20 Según una segunda implementación, el sistema de almacenamiento y restitución de calor comprende un lecho móvil de partículas. Se denomina lecho móvil, una disposición de partículas de almacenamiento de calor, en la que las partículas se desplazan en una misma dirección.

25 Según una tercera implementación, el sistema de almacenamiento y restitución de calor comprende un lecho fluidizado de partículas. Un lecho fluidizado está constituido por una fase sólida compuesta por una fase fluida en flujo y de partículas puestas en suspensión por la fase fluida. Por ejemplo, la fase fluida puede ser gaseosa, en forma de aire o de gas raro. La fase fluida puede inyectarse en un extremo de la zona de intercambio de calor, en proximidad de la entrada (inyección) de las partículas para formar el lecho fluidizado. En el caso en que la invención usa una tecnología de «lecho fluidizado», el sistema de almacenamiento y restitución de calor puede comprender varios lechos fluidizados «en serie», de manera que cada lecho fluidizado de entrada/salida comprende un sistema de regulación térmica, que  
30 regula la temperatura del conjunto del lecho fluidizado.

Según una realización de la invención, el sistema de almacenamiento de calor posee una forma de revolución, es decir, que tiene un eje de simetría: cilíndrico, cónico, troncocónico, etc., preferentemente el medio de almacenamiento de calor tiene sustancialmente forma cilíndrica (columna). Según una realización de la invención, el medio de  
35 almacenamiento de calor puede incluir una pluralidad de lechos de partículas de almacenamiento de calor. Estos lechos de partículas pueden formar una disposición por niveles: los lechos se disponen entonces unos sobre otros, y pueden estar separados por capas de material aislante térmico. Según una implementación de la invención, el lecho de partículas puede tener una forma sustancialmente cilíndrica o anular.

40 De acuerdo con una implementación de la invención, el sistema de almacenamiento y restitución de calor es sustancialmente vertical. Alternativamente, el sistema de almacenamiento y restitución de calor es sustancialmente horizontal.

45 Según una variante de realización de la invención, el sistema de intercambio de calor según la invención puede comprender partículas sólidas o partículas en forma de cápsulas que contienen un material de cambio de fase (MCF). Estos materiales permiten igualmente una reducción del volumen de los posibles medios de almacenamiento, ya que permiten almacenar una gran cantidad de energía en forma de calor latente. Puede encontrarse igualmente un compromiso entre eficacia y coste mezclando MCF y materiales de almacenamiento, usando el calor sensible para  
50 almacenar el calor, en el lecho de partículas. Entre los materiales con cambio de fase, se pueden usar los materiales siguientes: parafinas, cuya temperatura de fusión es inferior a 130°C, sales que se funden a temperaturas superiores a 300°C, mezclas (eutéticas) que permiten tener una gran gama de temperatura de fusión.

Las partículas sólidas (ya sean o no con cambio de fase) pueden tener todas las formas conocidas de los medios  
55 granulares clásicos (barras, cilindros, extruidas, trilobuladas, ...), así como cualquier otra forma que permita maximizar la superficie de intercambio con el gas. Preferentemente, las partículas están en forma de barras, de manera que limitan los problemas de desgaste. El tamaño de las partículas puede variar entre 0,02 mm y 50 mm, de manera preferida entre 0,5 y 20 mm, y de manera todavía más preferida entre 1 y 10 mm.

60 De acuerdo con una variante de realización de la invención, el fluido puede ser un gas, en particular aire. El fluido puede ser un gas que será enfriado o calentado por las partículas en el lecho de partículas. Alternativamente, el fluido puede ser un líquido.

65 Según una realización preferida de la invención, el sistema de almacenamiento y restitución de calor incluye un primer medio de regulación térmica capaz de enfriar las partículas en un primer extremo del lecho de partículas, y un segundo medio de regulación térmica capaz de calentar las partículas en el otro extremo del lecho de partículas. Preferentemente, el primer extremo corresponde al lado (denominado «lado caliente»), por el que entra y/o sale el

fluido caliente del lecho fijo, y el segundo extremo corresponde al lado (denominado «lado frío»), por el que entra y/o sale el gas frío del lecho fijo. El primer medio de regulación térmica puede implementarse en particular después de la carga del sistema de almacenamiento y restitución de calor. El segundo medio de regulación térmica puede implementarse en particular después de la descarga del sistema de almacenamiento y restitución de calor. Así, es posible evitar un escalonamiento del gradiente de temperatura dentro del lecho de partículas, lo que asegura un buen mantenimiento del gradiente térmico en el sistema de almacenamiento y restitución de calor. De esta manera, es posible optimizar la transferencia térmica durante la carga y la descarga del sistema de almacenamiento y restitución de calor. Esto resulta especialmente importante de cara al mantenimiento de la eficacia del sistema en el curso de los diferentes ciclos de carga y descarga, ya que el sistema de almacenamiento debe permitir asegurar una temperatura constante en la entrada del sistema de almacenamiento del aire comprimido (o del compresor en el caso de un procedimiento AACAES con varias etapas de compresión) en las fases de carga, y en la entrada de la turbina de expansión durante las fases de descarga.

De manera alternativa y/o complementaria, el sistema de almacenamiento y restitución de calor incluye un primer medio de regulación térmica capaz de calentar las partículas en un primer extremo del lecho de partículas, y un segundo medio de regulación térmica capaz de enfriar las partículas en el otro extremo del lecho de partículas. Preferentemente, el primer extremo corresponde al lado (denominado «lado caliente»), por el que entra y/o sale el fluido caliente del lecho fijo, y el segundo extremo corresponde al lado (denominado «lado frío»), por el que entra y/o sale el gas frío del lecho fijo.

Con el fin de mantener la temperatura regulada por los medios de regulación térmica, el lecho de partículas puede comprender al menos una capa de material aislante térmico, delimitando esta capa la porción del lecho de partículas correspondiente por medio de regulación térmica. Estas capas de aislante térmico permiten limitar la difusión de la temperatura entre los extremos del lecho de partículas y el centro del lecho de partículas, y con ello mejoran el control del gradiente térmico. El material aislante puede ser cualquier material de muy baja conductividad térmica conocido, es decir, más aislante que el lecho que comprende las partículas. Esta capa de material aislante térmico puede ser permeable al fluido, con el fin de permitir su paso a través de la capa.

En el lecho de partículas pueden preverse medios de medida de la temperatura. Los medios de medida de la temperatura pueden colocarse en los extremos del lecho de partículas. Estos medios de medida de la temperatura pueden usarse para la regulación térmica de las partículas dispuestas en los extremos del lecho de partículas.

De forma ventajosa, los medios de regulación térmica pueden comprender medios de calentamiento y/o enfriamiento de dichas partículas. Estos medios de calentamiento y/o enfriamiento pueden comprender un intercambiador de calor y/o una resistencia eléctrica y/o medios de circulación de un fluido térmico, etc. Se denomina fluido térmico a un fluido que circula en una porción del lecho de partículas que tiene como objetivo enfriar o recalentar las partículas. Este fluido térmico es diferente del fluido que circula en el lecho de partículas para su calentamiento o su enfriamiento. El fluido térmico puede ser aire, agua, vapor de agua o cualquier fluido que permita un buen intercambio de calor.

Estos medios de calentamiento y/o enfriamiento pueden estar situados dentro del lecho de partículas, de manera que optimicen la transferencia térmica. Alternativamente, los medios de calentamiento y/o de enfriamiento pueden estar situados en la periferia del lecho de partículas, de manera que no obstaculicen la circulación del fluido que intercambia el calor. En este caso, los medios de calentamiento y/o de enfriamiento pueden estar situados entre la columna y el lecho de partículas.

La figura 7 es una vista similar a la figura 6. Esta figura presenta el perfil térmico «tipo» de un sistema de almacenamiento y restitución de calor (TES) en lecho fijo de partículas, según la invención. En esta figura, el «lado caliente» (entrada y salida del fluido caliente) está a la izquierda, y el «lado frío» (entrada y salida del fluido frío) está a la derecha. En esta figura, la curva Tch en trazo continuo corresponde al perfil de la temperatura durante la carga, y la curva Tde, en trazo discontinuo, representa el perfil de la temperatura durante la descarga. Gracias a los medios de regulación térmica, la temperatura es casi constante en los extremos del lecho fijo. Además, al contrario que el gradiente térmico representado en la figura 6, el gradiente térmico es más restrictivo, y los perfiles de temperatura en las fases de carga y descarga están más cerca. Así, los intercambios de calor entre el fluido y las partículas son más eficaces.

Según una implementación de la invención, los medios de regulación térmica pueden implementarse en particular durante las fases de almacenamiento (después de una etapa de carga), y/o durante una etapa de espera (después de una descarga).

La figura 2 ilustra, de manera no limitativa, un sistema de almacenamiento y restitución de calor 1 según una primera realización de la invención. El sistema de almacenamiento 1 está formado por una columna vertical, que comprende un lecho fijo de partículas 2. La columna comprende, además, en sus dos extremos, medios de inyección y de trasvase 3 de un fluido en la columna. Además, la columna comprende medios de circulación 5 de un fluido térmico (es decir, diferente del fluido para calentar o para enfriar), con el fin de asegurar la regulación térmica de las partículas en los extremos del lecho de partículas 2. Por ejemplo, un fluido térmico caliente puede inyectarse desde arriba de la columna por los medios de inyección y de trasvase 3, y puede recogerse por los medios de circulación 5 situados en la periferia

de la columna, a una pequeña distancia de la parte superior de la columna. Además, un fluido térmico frío puede inyectarse por medios de circulación 5 situados en la periferia de la columna, a una pequeña distancia del fondo de la columna, puede extraerse de la columna por medios de inyección y de trasvase 3 en el fondo de la columna. Además, el lecho de partículas 2 incluye dos capas de material aislante térmico 4. Las capas 4 delimitan tres porciones del lecho de partículas 2: una primera en el extremo superior del lecho fijo delimitada por la parte superior de la columna y una primera capa de aislante térmico 4, una segunda en el centro del lecho fijo entre las dos capas de aislante térmico 4, y una tercera en el extremo inferior del lecho fijo delimitada por una capa de aislante térmico 4 y el fondo de la columna. Estas capas de material aislante térmico permiten aislar térmicamente las porciones del lecho de partículas, en las que se prevén el calentamiento y el enfriamiento de las partículas. Así, es posible mantener el gradiente térmico deseado.

Según una variante de la realización, el sistema de almacenamiento y restitución de calor puede comprender o bien ninguna o bien una única capa de material aislante térmico.

Además, el lecho fijo puede sustituirse por un lecho móvil o una pluralidad de lechos fluidizados.

La figura 3 ilustra, de manera no limitativa, un sistema de almacenamiento y restitución de calor 1 según una segunda realización de la invención. El sistema de almacenamiento 1 está formado por una columna vertical, que comprende un lecho fijo de partículas 2. La columna comprende, además, en sus dos extremos, medios de inyección y de trasvase de un fluido en la columna. Para el «lado caliente» de la columna (en la parte superior de la columna), los medios de regulación térmica comprenden una resistencia eléctrica 6, para el calentamiento de las partículas. Además, la columna comprende medios de circulación 5 de un fluido térmico (es decir, diferente del fluido para calentar o para enfriar), con el fin de asegurar la regulación térmica de las partículas del «lado frío» del lecho de partículas 2. Por ejemplo, un fluido térmico frío puede inyectarse por medios de circulación 5 situados en la periferia de la columna, a una pequeña distancia del fondo de la columna, y puede extraerse de la columna por medios de inyección y de trasvase en el fondo de la columna. Además, el lecho de partículas 2 incluye dos capas de material aislante térmico 4. Las capas 4 delimitan tres porciones del lecho de partículas 2: una primera en el extremo superior del lecho fijo delimitada por la parte superior de la columna y una primera capa de aislante térmico 4, una segunda en el centro del lecho fijo entre las dos capas de aislante térmico 4, y una tercera en el extremo inferior del lecho fijo delimitada por una capa de aislante térmico 4 y el fondo de la columna. Estas capas de material aislante térmico permiten aislar térmicamente las porciones del lecho de partículas, en las que se prevén el calentamiento y el enfriamiento de las partículas. Así, es posible mantener el gradiente térmico deseado.

Según una variante de la realización, el sistema de almacenamiento y restitución de calor puede comprender o bien ninguna o bien una única capa de material aislante térmico.

Además, el lecho fijo puede sustituirse por un lecho móvil o una pluralidad de lechos fluidizados.

La figura 4 ilustra, de manera no limitativa, un sistema de almacenamiento y restitución de calor 1 según una tercera realización de la invención. El sistema de almacenamiento 1 está formado por una columna vertical, que comprende un lecho fijo de partículas 2. La columna comprende, además, en sus dos extremos, medios de inyección y de trasvase de un fluido en la columna. Además, la columna comprende intercambiadores térmicos 7, con el fin de asegurar la regulación térmica de las partículas en los extremos del lecho de partículas 2. Por ejemplo, un primer intercambiador térmico 7 que aporta calor puede estar situado en la parte superior de la columna. Además, un segundo intercambiador térmico, que enfría las partículas 2 puede estar situado en el fondo de la columna. Además, el lecho de partículas 2 incluye dos capas de material aislante térmico 4. Las capas 4 delimitan tres porciones del lecho de partículas 2: una primera en el extremo superior del lecho fijo delimitada por la parte superior de la columna y una primera capa de aislante térmico 4, una segunda en el centro del lecho fijo entre las dos capas de aislante térmico 4, y una tercera en el extremo inferior del lecho fijo delimitada por una capa de aislante térmico 4 y el fondo de la columna. Estas capas de material aislante térmico permiten aislar térmicamente las porciones del lecho de partículas, en las que se prevén el calentamiento y el enfriamiento de las partículas. Así, es posible mantener el gradiente térmico deseado.

Según una variante de la realización, el sistema de almacenamiento y restitución de calor puede comprender o bien ninguna o bien una única capa de material aislante térmico.

Además, el lecho fijo puede sustituirse por un lecho móvil o una pluralidad de lechos fluidizados.

Las realizaciones de las figuras 2, 3 y 4 pueden combinarse por asociación y/o por sustitución, según todas las combinaciones posibles. Por ejemplo, un sistema de almacenamiento y restitución de calor puede comprender en el «lado caliente» a la vez una resistencia eléctrica y medios de circulación de un líquido térmico. Según otro ejemplo, el sistema de almacenamiento y restitución de calor puede comprender una resistencia eléctrica en el «lado caliente» y un intercambiador de calor en el «lado frío».

Alternativamente, el sistema de almacenamiento y restitución de calor puede comprender un sistema de tipo bomba de calor que recupera la energía sobrante del «lado frío» para restituirla en el «lado caliente».

Además, la presente invención se refiere a un sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido equipado con un medio de almacenamiento de calor (por ejemplo, del tipo AACAES). En esta implementación, el gas a presión (a menudo, aire) se almacena frío. El sistema de almacenamiento y recuperación de energía según la invención incluye:

- al menos un medio de compresión de gas (o compresor), y preferentemente varios medios de compresión de gas por niveles. El medio de compresión de gas puede ser movido por un motor, en particular un motor eléctrico;
- al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido (también denominado reservorio) por el medio de compresión del gas. El medio de almacenamiento del gas comprimido puede ser un reservorio natural (por ejemplo, una cavidad subterránea) o no. El medio de almacenamiento del gas comprimido puede estar en superficie o en el subsuelo. Además, puede estar formado por un único volumen o por una pluralidad de volúmenes conectados entre sí o no;
- al menos un medio de expansión del gas (también denominado expansor o turbina), que permite expandir el gas comprimido y almacenado, y preferentemente varios medios de expansión de gas por niveles. El medio de expansión del gas permite generar una energía, en particular una energía eléctrica por medio de un generador;
- al menos un sistema de almacenamiento y restitución de calor, que permite el almacenamiento de calor obtenido del gas comprimido durante la fase de almacenamiento de energía, y que permite la restitución del calor almacenado al gas comprimido durante la fase de la restitución de energía, el sistema de almacenamiento y restitución de calor está colocado, preferentemente, en la salida de los medios de compresión y en la entrada de los medios de expansión. Según la invención, el sistema de intercambio del calor comprende partículas sólidas de almacenamiento de calor. Estas partículas sólidas intercambian calor con el gas durante las fases de almacenamiento y restitución de energía, almacenándose este calor en las partículas entre estas dos fases. Según la invención, los sistemas de almacenamiento de calor están de acuerdo con una de las variantes de realización descritas anteriormente, o con una de las combinaciones de las variantes descritas anteriormente.

Se usan los términos «medios de compresión por niveles» (respectivamente «medios de expansión por niveles») cuando una pluralidad de medios de compresión (respectivamente de expansión) están montados sucesivamente unos sobre otros en serie: el gas comprimido (respectivamente expandido) en salida del primer medio de compresión (respectivamente de expansión) pasa a continuación a un segundo medio de compresión (respectivamente de expansión) y así sucesivamente. Se habla entonces de un nivel de compresión o de expansión, un medio de compresión o de expansión de la pluralidad de medios de compresión o de expansión por niveles. Ventajosamente, cuando el sistema incluye una pluralidad de niveles de compresión y/o de expansión, se dispone un sistema de intercambio de calor entre cada nivel de compresión y/o de expansión. Así, el gas comprimido es enfriado entre cada compresión, lo que permite optimizar el rendimiento de la compresión siguiente, y el gas expandido es calentado entre cada expansión, lo que permite optimizar el rendimiento de la expansión siguiente. El número de niveles de compresión y el número de niveles de expansión pueden estar comprendidos entre 2 y 10, preferentemente entre 3 y 5. Preferentemente, el número de niveles de compresión es idéntico al número de niveles de expansión. Alternativamente, el sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido (por ejemplo, de tipo AACAES) según la invención puede contener un único medio de compresión y un único medio de expansión.

Según una variante de realización de la invención, los medios de compresión, por niveles o no, pueden ser reversibles, es decir, que pueden funcionar a la vez para la compresión y para la expansión. Así, es posible limitar el número de dispositivos usados en el sistema según la invención, lo que permite un aumento de peso y de volumen del sistema según la invención.

El sistema según la invención está adaptado a cualquier tipo de gas, en particular aire. En este caso, el aire de entrada utilizado para la compresión puede tomarse del aire ambiente, y el aire de salida después de la expansión puede liberarse al aire ambiente. En lo sucesivo en la descripción, se describirá solo la variante de realización con aire comprimido, y su aplicación AACAES. Sin embargo, el sistema y el procedimiento de almacenamiento de energía por gas comprimido son válidos para cualquier otro gas.

La figura 8 ilustra un ejemplo de realización no limitativo de un sistema AACAES según la invención. En esta figura, las flechas en trazo continuo ilustran la circulación del gas durante las etapas de compresión (almacenamiento de energía), y las flechas en trazo discontinuo ilustran la circulación del gas durante las etapas de expansión (restitución de energía). Esta figura ilustra un sistema AACAES que comprende un único nivel de compresión 12, un único nivel de expansión 14 y un sistema de almacenamiento y restitución de calor 1. El sistema incluye un reservorio de almacenamiento 13 del gas comprimido. El sistema de almacenamiento y restitución de calor 1 está intercalado entre el nivel de compresión/expansión 12 o 14 y el reservorio de almacenamiento 13 del gas comprimido. Clásicamente, en fase de almacenamiento de energía (compresión), el aire es primero comprimido en el compresor 12, y después enfriado en el sistema de almacenamiento de calor 1. El gas comprimido y enfriado se almacena en el reservorio 13. Las partículas de almacenamiento de calor del sistema de almacenamiento de calor 1 están calientes después del enfriamiento del gas comprimido en la fase de compresión. Durante la recuperación de la energía (expansión), el gas comprimido almacenado es calentado en el sistema de almacenamiento y restitución de calor 1. A continuación, de manera clásica, el gas pasa a través de uno o varios niveles de expansión 14 (un nivel según el ejemplo ilustrado en la figura 1).

El sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido según la invención no está limitado al ejemplo de la figura 8. Pueden contemplarse otras configuraciones: un número diferente de niveles de compresión y/o de expansión, el uso de medios reversibles que aseguran la compresión y la expansión, etc.

5 Alternativamente, el sistema de almacenamiento y recuperación de calor según la invención puede usarse para cualquier tipo de uso que necesite el almacenamiento de calor, en particular para el almacenamiento de energía solar, eólica o para cualquier tipo de industria como, por ejemplo, la metalurgia, etc.

10 Además, la presente invención se refiere a un procedimiento de almacenamiento de calor, en el que se realizan las etapas siguientes:

- 15 a) se hace circular un fluido para enfriar en un lecho de partículas de almacenamiento de calor; y  
b) se almacena una parte del calor del fluido en las partículas, y se regula la temperatura de las partículas en al menos un extremo del lecho de partículas, por ejemplo, calentando las partículas situadas en el extremo del lecho de partícula, por el que sale el fluido («lado frío»).

El procedimiento de almacenamiento de calor según la invención puede comprender igualmente las etapas siguientes solas o en combinación:

- 20 - se regula la temperatura calentando las partículas del lado del lecho, por el que entra el fluido caliente para enfriar, y enfriando las partículas del lado del lecho, por el que sale el fluido enfriado,  
- se regula la temperatura haciendo circular un fluido térmico en una porción del lecho de partículas,  
- se regula la temperatura alimentando una resistencia eléctrica,  
25 - se regula la temperatura por medio de un intercambio térmico,  
- se regula la temperatura por medio de un sistema de bomba de calor.

Según una variante de realización de este procedimiento, durante la etapa a), preferentemente para la etapa a), se regula la temperatura del «lado caliente» del lecho de partículas. Preferentemente, se regula la temperatura por calentamiento de las partículas del «lado frío».

30 El procedimiento de almacenamiento de calor puede realizarse mediante una de las variantes de realización del sistema de almacenamiento y restitución de calor descritas anteriormente, o una de las combinaciones de las variantes descritas anteriormente. En particular, el lecho puede ser un lecho fijo, móvil o fluidizado, las partículas pueden comprender materiales con cambio de fase, los medios de regulación térmica pueden comprender una bomba de calor, una resistencia eléctrica, un intercambiador de calor y/o medios de circulación de un fluido térmico.

Además, la presente invención se refiere a un procedimiento de restitución del calor, en el que se realizan las etapas siguientes:

- 40 a) se almacena una parte del calor en las partículas, y se regula la temperatura de las partículas en al menos un extremo del lecho de partículas; y  
b) se hace circular un fluido para calentar en el lecho de partículas para restituir el calor al fluido.

45 El procedimiento de restitución del calor según la invención puede comprender igualmente las etapas siguientes solas o en combinación:

- 50 - se regula la temperatura calentando las partículas del lado del lecho, por el que entra el fluido frío para calentar, y enfriando las partículas del lado del lecho, por el que sale el fluido calentado,  
- se regula la temperatura haciendo circular un fluido térmico en una porción del lecho de partículas,  
- se regula la temperatura alimentando una resistencia eléctrica,  
- se regula la temperatura por medio de un intercambio térmico,  
- se regula la temperatura por medio de un sistema de bomba de calor.

55 Según una variante de realización de este procedimiento, durante la etapa b), preferentemente para la etapa b) y después de la etapa b), se puede regular la temperatura del «lado caliente» del lecho de partículas. Preferentemente, se regula la temperatura por enfriamiento de las partículas del «lado caliente».

60 El procedimiento de restitución del calor puede realizarse con una de las variantes de realización del sistema de almacenamiento y restitución de calor descritas anteriormente, o una de las combinaciones de las variantes descritas anteriormente. En particular, el lecho puede ser un lecho fijo, móvil o fluidizado, las partículas pueden comprender materiales con cambio de fase, los medios de regulación térmica pueden comprender una bomba de calor, una resistencia eléctrica, un intercambiador de calor y/o medios de circulación de un fluido térmico.

65 La invención se refiere también a un procedimiento de almacenamiento y restitución de calor que está formado por la sucesión de las etapas del procedimiento de almacenamiento de calor y del procedimiento de restitución del calor.

De este modo se denomina ciclo a esta sucesión de cuatro etapas:

- 1) carga (enfriamiento del fluido),
- 2) almacenamiento y regulación térmica,
- 3) descarga (calentamiento del fluido), y
- 4) espera y en su caso regulación térmica.

La figura 5 ilustra, de manera no limitativa, estas cuatro etapas del ciclo CY según la invención. La figura 5 ilustra una curva del flujo D en función del tiempo. Durante la primera etapa de carga CH, el fluido circula en un primer sentido en el lecho, lo que por convenio se indica por un flujo positivo. Durante la segunda etapa, el calor se almacena ST, sin paso de fluido. Durante esta etapa de almacenamiento ST se implementa una regulación térmica QE. A continuación, se realiza una etapa de descarga DE, el fluido circula entonces en sentido inverso con respecto al primer sentido de la etapa de carga, lo que se indica por un flujo negativo. Después se implementa una etapa de espera AT con una regulación térmica QE, sin paso de fluido. La etapa de espera se termina con el inicio de un nuevo ciclo CY.

Según una realización de la invención, la regulación térmica puede poderse realizar igualmente durante las etapas de carga y descarga, preferentemente al final de las etapas de carga y descarga.

Por ejemplo, durante la carga, se puede regular la temperatura del «lado frío» del lecho de partículas, preferentemente, por calentamiento de las partículas del «lado frío», y, durante la descarga, se puede regular la temperatura del «lado caliente» del lecho de partículas, preferentemente, por enfriamiento de las partículas del «lado caliente».

La presente invención se refiere igualmente a un procedimiento de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido, en el que se realizan las etapas siguientes:

- a) se comprime un gas, en particular por medio de un compresor;
- b) se enfría el gas comprimido por intercambio de calor, en un sistema de almacenamiento y restitución de calor según la invención;
- c) se almacena el gas comprimido enfriado, en particular por un medio de almacenamiento de gas comprimido;
- d) se calienta el gas comprimido almacenado, por intercambio de calor, en el sistema de almacenamiento y restitución de calor según la invención; y
- e) se expande el gas comprimido calentado para generar una energía, por ejemplo, por medio de una turbina para generar una energía eléctrica.

Según la invención, el intercambio de calor entre el gas y las partículas se realiza con una regulación térmica de los extremos del lecho de partículas del sistema de almacenamiento y restitución de calor. Así, el almacenamiento y la restitución de energía del procedimiento de tipo AACAES se optimizan.

Según una implementación de este procedimiento, se regula la temperatura del lecho de partículas, calentando las partículas en el extremo del lecho de partículas por el que entra el gas, y enfriando las partículas en el extremo del lecho fijo por el que sale el gas.

El procedimiento de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido puede realizarse con una de las variantes de realización del sistema de almacenamiento y restitución de calor descritas anteriormente, o una de las combinaciones de las variantes descritas anteriormente. En particular, el lecho puede ser un lecho fijo, móvil o fluidizado, las partículas pueden comprender materiales con cambio de fase, los medios de regulación térmica pueden comprender una bomba de calor, una resistencia eléctrica, un intercambiador de calor y/o medios de circulación de un fluido térmico.

Según un aspecto de la invención, el procedimiento incluye varias etapas de compresión sucesivas, por medio de compresores colocados en serie, denominadas igualmente compresiones por niveles. En este caso, se repiten las etapas a) y b) para cada nivel de compresión. Así, el gas es comprimido y enfriado varias veces.

Según una característica de la invención, el procedimiento incluye varias etapas de expansión sucesivas, por medios de expansión colocados en serie, denominadas también expansiones por niveles. En este caso, se repiten las etapas d) y e) para cada nivel de expansión. Así, el gas se calienta y se expande varias veces.

La etapa a) se refiere a la compresión de un gas, por ejemplo, aire. Puede tratarse en particular de aire extraído en el medio ambiente.

La etapa b) permite enfriar el gas comprimido después de cada etapa de compresión, lo que permite optimizar el rendimiento de la compresión siguiente y/o el almacenamiento de energía. El sistema de almacenamiento de calor permite, durante el almacenamiento del gas comprimido (compresión), recuperar un máximo de calor obtenido de la compresión del gas en salida de los compresores y disminuir la temperatura del gas antes del paso a la compresión siguiente o antes del almacenamiento. Por ejemplo, el gas comprimido puede pasar de una temperatura superior a 150°C, por ejemplo, aproximadamente 190°C a una temperatura inferior a 80°C, por ejemplo, aproximadamente 50°C.

5 La etapa c) puede realizarse dentro de un medio de almacenamiento del gas comprimido, que puede ser un reservorio natural o no (por ejemplo, una cavidad subterránea). El medio de almacenamiento del gas comprimido puede estar en superficie o en el subsuelo. Además, puede estar formado por un único volumen o por una pluralidad de volúmenes conectados entre sí o no. Durante el almacenamiento, se cierra el medio de almacenamiento del gas comprimido.

El gas comprimido se almacena hasta el momento en que se desea recuperar la energía almacenada. La etapa d) y las siguientes se realizan en el momento en que se desea recuperar la energía almacenada.

10 La etapa d) permite calentar el aire comprimido antes de cada expansión, lo que permite optimizar el rendimiento de la expansión siguiente. Para la etapa d), se pueden usar las partículas de almacenamiento de calor que han servido para enfriar durante la etapa b). Los medios de almacenamiento de calor permiten, durante la restitución de la energía, restituir un máximo de calor almacenado aumentando la temperatura del gas antes del paso a la expansión siguiente. Por ejemplo, el gas puede pasar de una temperatura inferior a 80°C, por ejemplo, aproximadamente 50°C, a una temperatura superior a 150°C, por ejemplo, aproximadamente 180°C.

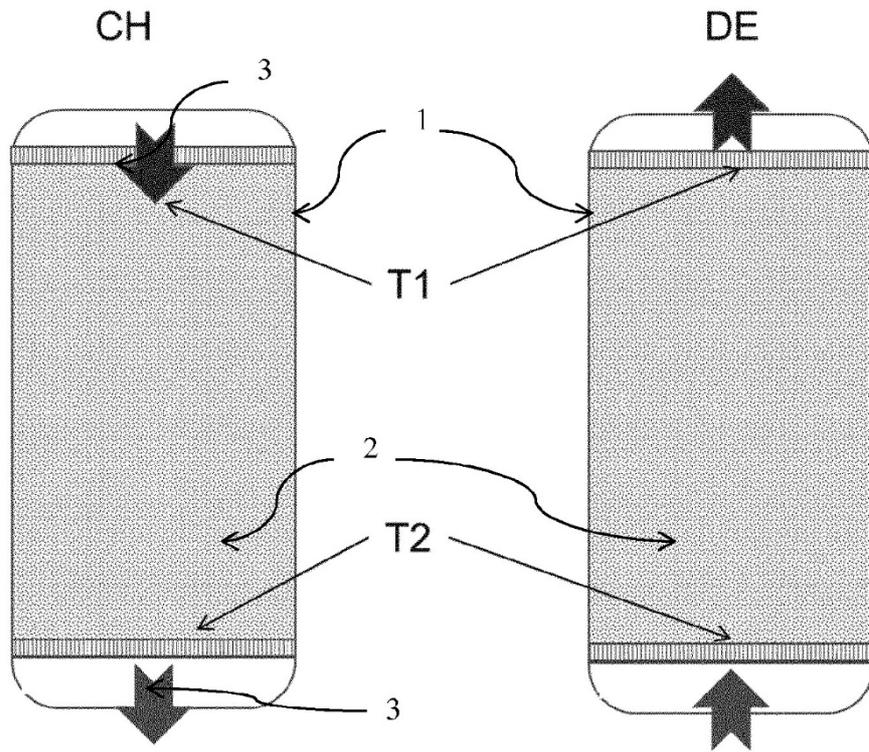
15 Durante la etapa e), el gas comprimido se expande. La expansión del gas comprimido permite generar una energía. Esta expansión puede realizarse por medio de una turbina que genera una energía eléctrica. Si el gas es aire, el aire expandido puede ser evacuado al medio ambiente.

20 El procedimiento y el sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido según la invención pueden usarse para el almacenamiento de una energía intermitente, tal como la energía eólica o solar, con el fin de poder usar esta energía en el momento deseado.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de almacenamiento y restitución de calor que comprende al menos un lecho de partículas (2) de almacenamiento de calor, y medios de inyección y de trasvase (3) de un fluido en dicho al menos un lecho de partículas (2), **caracterizado porque** dicho sistema de almacenamiento y restitución de calor (1) incluye en cada extremo de dicho al menos un lecho de partículas (2) un medio de regulación térmica de dichas partículas (2).
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que dicho sistema de almacenamiento incluye un primer medio de regulación térmica capaz de calentar dichas partículas (2) en un primer extremo de dicho al menos un lecho de partículas (2), y un segundo medio de regulación térmica capaz de enfriar dichas partículas (2) en un segundo extremo de dicho al menos un lecho de partículas (2).
3. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho medio de regulación térmica incluye medios de calentamiento y/o de enfriamiento de dichas partículas (2).
4. Sistema según las reivindicaciones 2 y 3, en el que dichos medios de calentamiento y dichos medios de enfriamiento de los medios de regulación térmica primero y segundo están conectados por medio de un dispositivo de bomba de calor.
5. Sistema según la reivindicación 3, en el que dichos medios de calentamiento y/o de enfriamiento de dichas partículas (2) comprenden un intercambiador de calor (7) y/o una resistencia eléctrica (6) y/o medios de circulación de un fluido térmico (5).
6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 3 o 5, en el que dichos medios de calentamiento y/o de enfriamiento están situados dentro de dicho al menos un lecho de partículas (2).
7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 3 o 5, en el que dichos medios de calentamiento y/o de enfriamiento están situados en la periferia de dicho al menos un lecho de partículas (2).
8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho lecho fijo incluye una capa (4) de material aislante térmico, dentro de dicho al menos un lecho de partículas (2), que delimita dicho medio de regulación térmica.
9. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de almacenamiento y restitución de calor (1) incluye medios de medida de la temperatura de dichas partículas (2).
10. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho fluido es un gas, en particular aire.
11. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas partículas (2) son partículas de material de cambio de fase.
12. Sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido que incluye al menos un medio de compresión del gas (12), al menos un medio de almacenamiento de gas comprimido (13), al menos un medio de expansión (14) de dicho gas comprimido para generar una energía y al menos un sistema de almacenamiento y de restitución de calor (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
13. Procedimiento de almacenamiento de calor, **caracterizado porque** incluye las etapas siguientes:
- a) se hace circular un fluido en un lecho de partículas (2) de almacenamiento de calor de un sistema de almacenamiento y restitución de calor (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11; y
- b) se almacena una parte del calor de dicho fluido en dichas partículas (2), y se regula la temperatura de dichas partículas (2) en al menos un extremo de dicho lecho de partículas (2).
14. Procedimiento de restitución del calor, **caracterizado porque** incluye las etapas siguientes:
- a) se almacena calor en un lecho de partículas (2) de almacenamiento de calor de un sistema de almacenamiento y restitución de calor (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, regulando la temperatura de dichas partículas (2) en al menos un extremo de dicho lecho de partículas (2); y
- b) se hace circular un fluido en dicho lecho de partículas (2) para restituir dicho calor de dichas partículas (2) a dicho fluido.
15. Procedimiento de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido, **caracterizado porque** comprende las etapas siguientes por medio de un sistema de almacenamiento y recuperación de energía por gas comprimido según la reivindicación 12:

- a) se comprime un gas;
  - b) se enfría un gas en un sistema de almacenamiento y restitución de calor (1);
  - c) se almacena dicho gas enfriado;
  - d) se calienta dicho gas enfriado en dicho sistema de almacenamiento y restitución de calor (1); y
  - e) se expande dicho gas comprimido calentado para generar una energía.
- 5
16. Procedimiento según la reivindicación 15, en el que entre las etapas de enfriamiento del gas y de calentamiento del gas, se regula la temperatura en al menos un extremo de dicho lecho de partículas (2).
- 10
17. Procedimiento según la reivindicación 16, en el que, en la etapa b), se regula la temperatura de dicho lecho de partículas (2) calentando dichas partículas (2) en el extremo de dicho lecho de partículas (2) por el que sale dicho gas.
- 15
18. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 o 17, en el que, en la etapa d), se regula la temperatura de dicho lecho de partículas (2) enfriando dichas partículas (2) en el extremo de dicho lecho de partículas (2) por el que sale dicho gas.



TÉCNICA ANTERIOR

Figura 1

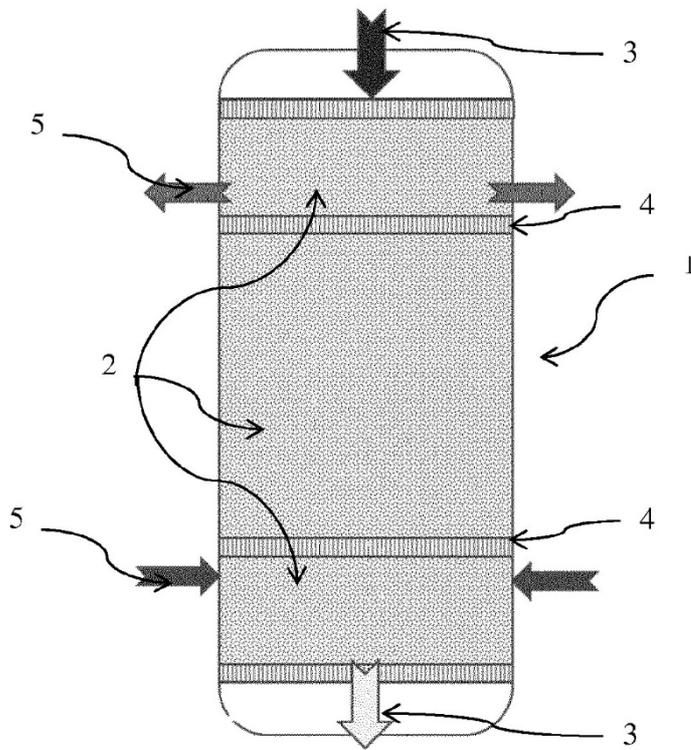


Figura 2

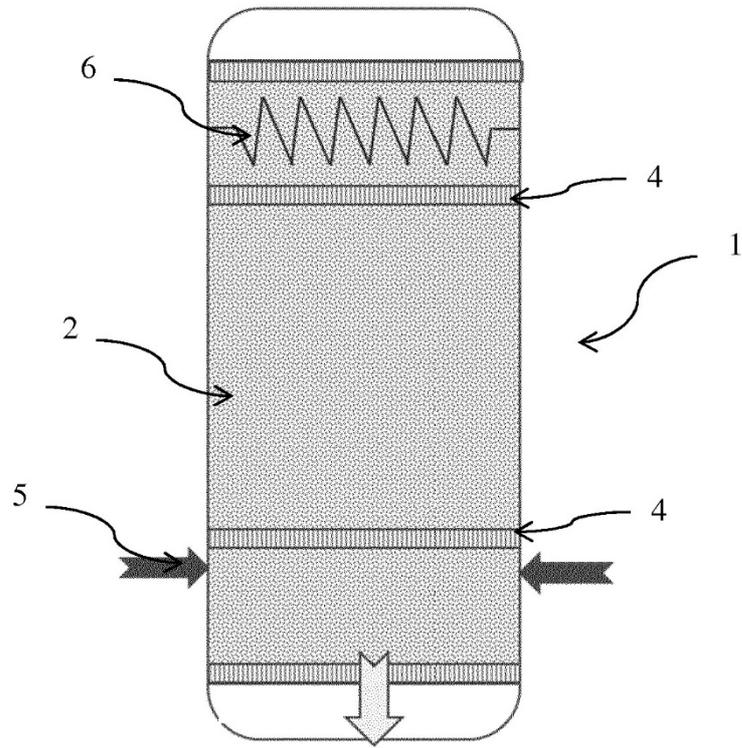


Figura 3

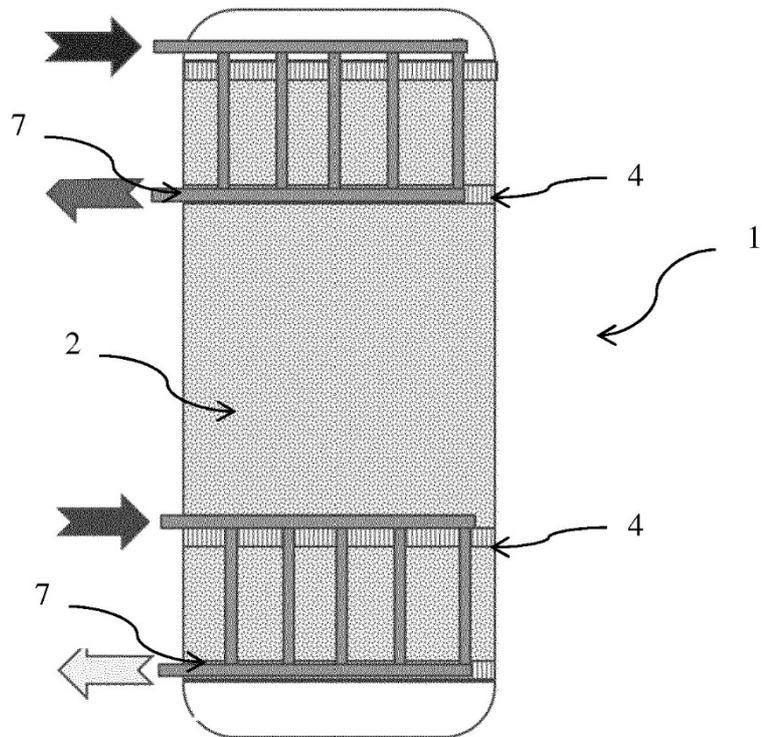


Figura 4

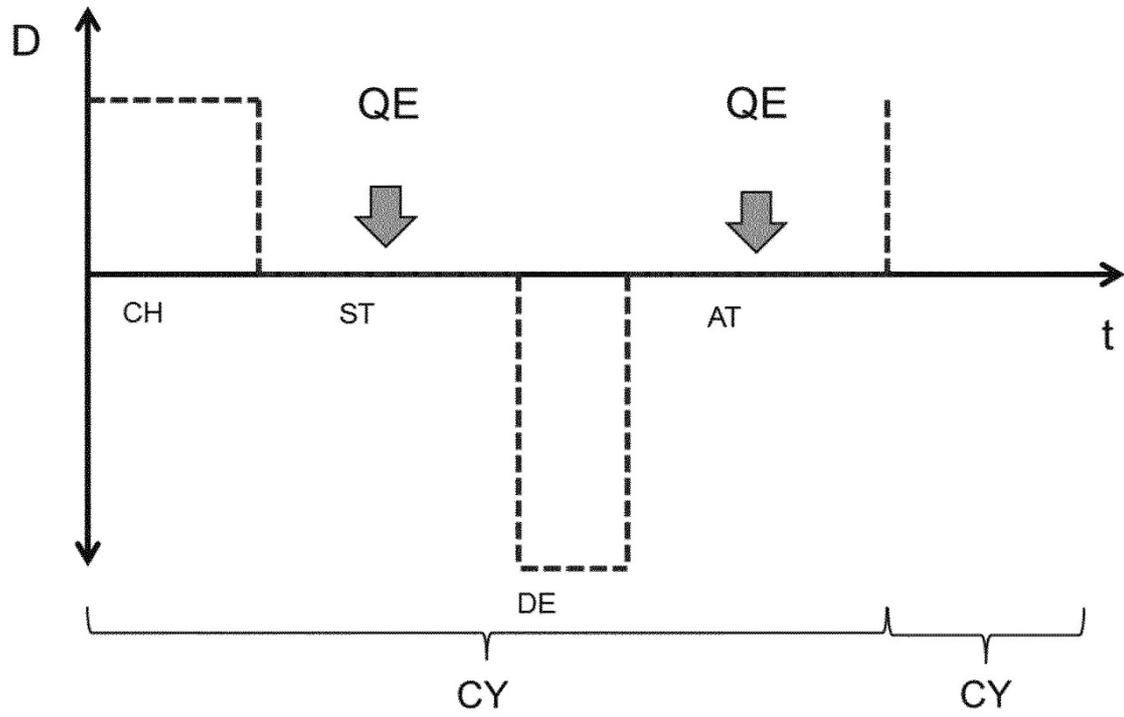
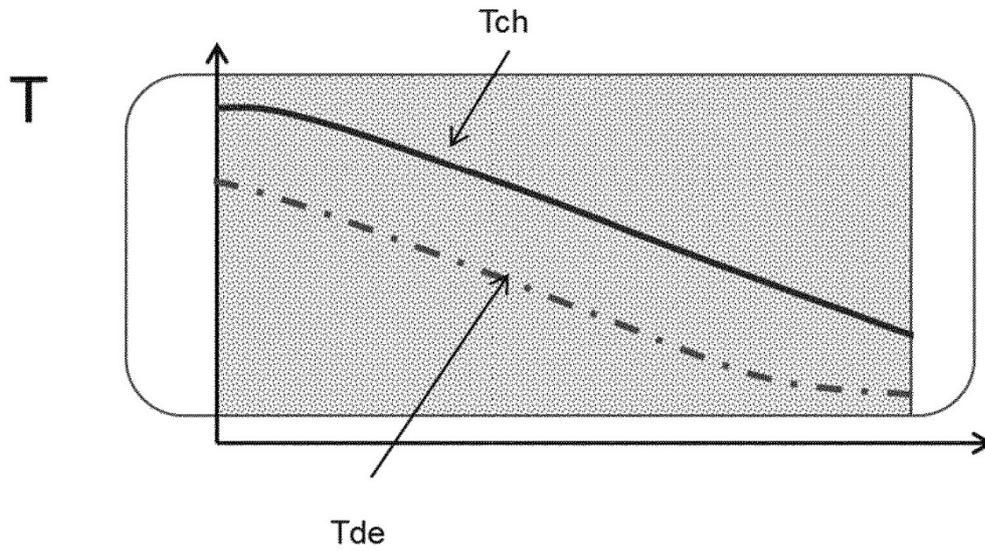


Figura 5



TÉCNICA ANTERIOR  
Figura 6

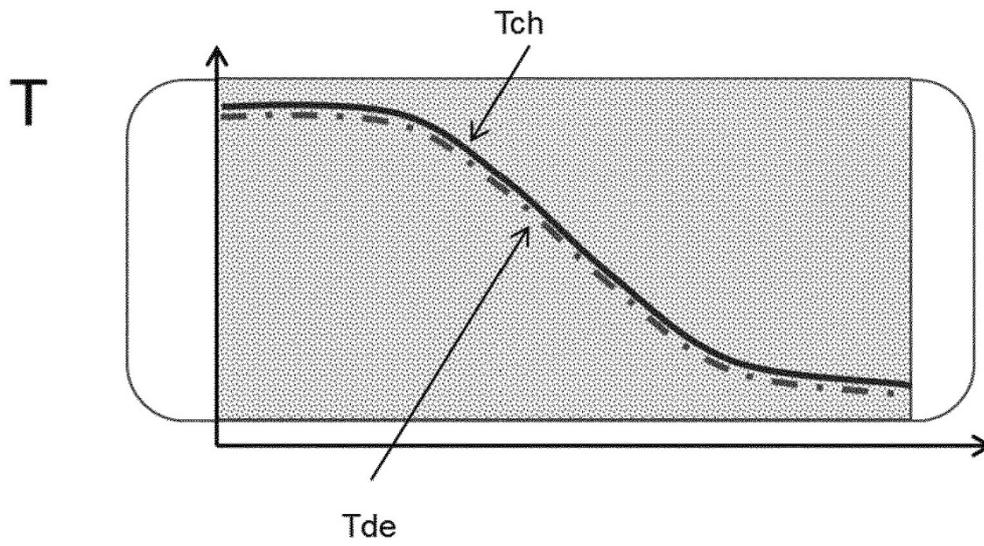


Figura 7

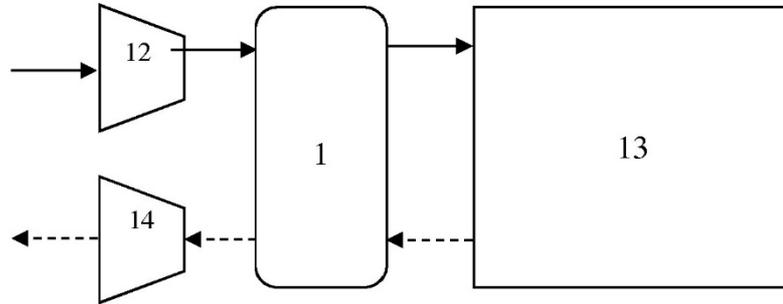


Figura 8