

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 164**

51 Int. Cl.:

F28D 20/02 (2006.01)

F28D 20/00 (2006.01)

F02C 6/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2016 E 16306489 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 3176529**

54 Título: **Sistema y procedimiento de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido**

30 Prioridad:

04.12.2015 FR 1561875

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

30.04.2019

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;
VINAY, GUILLAUME y
PLAIS, CECILE**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 711 164 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 de restitución de energía mediante gas comprimido

5 El campo de la presente invención se refiere al almacenamiento de energía mediante gas comprimido, en concreto aire (CAES del inglés "Compressed Air Energy Storage"). En particular, la presente invención se refiere a un sistema AACAES (del inglés "Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage") en el que está previsto el almacenamiento del gas y el almacenamiento del calor generado. Aún más en particular, la invención se refiere a un sistema de almacenamiento y de restitución de energía tal como se define en el preámbulo de la reivindicación 1 y tal como se divulga por el documento DE 10 2008 033 527 A1.

15 En un sistema de almacenamiento de energía mediante aire comprimido (CAES), la energía, que se desea utilizar posteriormente, se almacena en forma de aire comprimido. Para el almacenamiento, una energía, en concreto eléctrica, acciona compresores de aire, y para el desalmacenamiento, el aire comprimido acciona turbinas, que pueden estar conectadas a un generador eléctrico. El rendimiento de esta solución no es óptimo porque una parte de la energía del aire comprimido se encuentra en forma de calor, que no es utilizado. En efecto, en los procedimientos CAES, solo se utiliza la energía mecánica del aire, es decir, que se rechaza todo el calor producido durante la compresión. A modo de ejemplo, se vuelve a calentar aire comprimido a 8 MPa (80 bar) durante la compresión hasta aproximadamente 423 K (es decir, aproximadamente 150 °C), pero se enfría antes del almacenamiento. Además, el rendimiento de un sistema CAES no es óptimo, porque a continuación el sistema tiene que calentar el aire almacenado para realizar la expansión del aire. En efecto, si el aire está almacenado a 8 MPa (80 bar) y a temperatura ambiente y si se desea recuperar la energía mediante una expansión, la descompresión del aire sigue, de nuevo, una curva isentrópica, pero esta vez a partir de las condiciones iniciales de almacenamiento (aproximadamente 8 MPa y 300 K). El aire se enfría por tanto hasta temperaturas no realistas (83 K, es decir -191 °C). Por lo tanto hay que volver a calentarlo, lo que puede realizarse con ayuda de un quemador de gas, u otro carburante.

Existen diversas variantes actualmente a este sistema. Pueden citarse, concretamente, los sistemas y procedimientos:

- ACAES (del inglés "Adiabatic Compressed Air Energy Storage") en el que el aire se almacena a la temperatura debida a la compresión. No obstante, este tipo de sistema requiere un sistema de almacenamiento específico, voluminoso y costoso porque requiere un aislamiento térmico por todo el volumen de almacenamiento del aire.
- 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 se almacena igualmente, por separado, en un sistema de almacenamiento de calor TES (del inglés "Thermal Energy Storage"). El calor almacenado en el TES se utiliza para calentar el aire antes de su expansión.

Una primera solución concebida para el sistema de almacenamiento de calor TES es la utilización de un fluido caloportador que permita almacenar el calor procedente de la compresión para restituirlo al aire antes de la expansión por medio de intercambiadores de calor. Por ejemplo, la solicitud de patente EP 2447501 describe un sistema AACAES en el que circula aceite, utilizado como fluido caloportador, en circuito cerrado para intercambiar calor con el aire. Por otra parte, las solicitudes de patente EP 2530283 y WO 2011053411 describen un sistema AACAES, en el que los intercambios de calor se realizan mediante un fluido caloportador que circula en un circuito cerrado, comprendiendo el circuito cerrado un único depósito de fluido caloportador.

45 No obstante, los sistemas descritos en estas solicitudes de patente requieren medios específicos de almacenamiento y de circulación del fluido caloportador. Además, para estos sistemas, se generan pérdidas de carga importantes por los intercambiadores de calor utilizados.

50 Una segunda solución concebida para el sistema de almacenamiento de calor TES se basa en un almacenamiento estático del calor (sin desplazamiento del material de almacenamiento). En este caso, se requiere un buen mantenimiento del gradiente térmico en los medios de almacenamiento de calor, ya que esto permite conservar una temperatura fría y una temperatura caliente constantes, y por tanto garantizar una mejor transferencia térmica durante la carga y la descarga. Esto es particularmente importante por lo que respecta al mantenimiento de la eficacia del sistema en el transcurso de los diferentes ciclos de carga y descarga. Para atender a esta exigencia se han propuesto medios de almacenamiento de calor en sólidos estáticos. Para obtener esta estratificación térmica con un almacenamiento de calor sólido, puede utilizarse un almacenamiento de calor mediante lecho fijo de partículas sólidas a través del cual pasa el fluido que ha de enfriarse. Sin embargo, en el transcurso de la carga y el apilado de partículas, pueden aparecer heterogeneidades, responsables de una porosidad no uniforme, en el seno del lecho, lo que puede generar pasos preferentes de fluido, y por tanto conducir a un gradiente térmico no homogéneo (presencia de zonas frías y de zonas calientes en diferentes lugares del lecho). Este efecto, además, se ve acentuado en el transcurso del funcionamiento del sistema debido a dilataciones de las partículas durante el paso del fluido caliente, que degradan enormemente los rendimientos de almacenamiento y de restitución del calor.

5 La solicitud de patente FR 3014182 describe un sistema AACAES en el que el sistema de almacenamiento y de restitución del calor comprende una pluralidad de medios de almacenamiento de calor distribuidos en niveles en la salida de cada nivel de compresión, teniendo cada medio de almacenamiento una temperatura de almacenamiento de calor propia. Este sistema, si bien permite un control del gradiente térmico satisfactorio, es, debido a la multiplicidad de medios de almacenamiento, relativamente costoso y presenta una operabilidad menor.

10 Para paliar estos inconvenientes, al tiempo que se permite dominar el gradiente térmico, la presente invención se refiere a un sistema y a un procedimiento de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido (por ejemplo de tipo AACAES, es decir que implica aire) en el que el medio de almacenamiento de calor está formado por una disposición distribuida en niveles de al menos dos lechos fijos de partículas de almacenamiento de calor, y comprende al menos un medio para inducir al menos una discontinuidad del gradiente térmico entre dos lechos adyacentes. Esta implementación puede permitir una estratificación térmica controlada en el seno de dicho medio de almacenamiento de calor, y concretamente evitar la formación de bolsas frías que perjudiquen la eficacia del sistema. Además, este objetivo puede lograrse en el seno de un mismo y único medio de almacenamiento de calor, lo que confiere al sistema según la invención una mejor operabilidad, y ello a un menor coste, con respecto a la técnica anterior. De este modo, el sistema según la invención permite aumentar la eficacia global del almacenamiento y de la restitución de energía mediante gas comprimido.

20 El sistema y el procedimiento según la invención

25 De este modo, la presente invención se refiere a un sistema de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido que comprende al menos un medio de compresión de gas, al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido, al menos un medio de expansión de dicho gas comprimido para generar una energía, y al menos un medio de almacenamiento de calor, caracterizado por que dicho medio de almacenamiento de calor comprende una disposición distribuida en niveles formada por al menos dos lechos fijos de partículas de almacenamiento de calor, y al menos un medio para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes.

Ventajosamente, dichos dos lechos fijos pueden estar separados por una pared permeable a dicho gas.

30 Según un modo de implementación de la invención, uno de dichos medios de discontinuidad de dicho gradiente térmico puede comprender una capa formada por un material térmicamente aislante, separando dicha capa al menos dos de dichos lechos fijos.

35 Según un modo de implementación de la invención, uno de dichos medios de discontinuidad de dicho gradiente térmico puede estar formado por al menos dos de dichos lechos fijos que comprenden partículas de material con cambio de fase.

40 Ventajosamente, dichos al menos dos lechos fijos pueden comprender partículas de material con cambio de fase de temperatura de fusión diferente y pueden estar situados, cada uno, en la proximidad de uno de los extremos de dicho medio de intercambio de calor.

45 Preferentemente, dichos al menos dos lechos fijos pueden comprender partículas de material con cambio de fase de temperatura de fusión diferente y pueden estar situados en la segunda posición de dicha disposición contando a partir de un extremo de dicho medio de intercambio de calor.

Según un modo de implementación de la invención, un paso principalmente axial de dicho gas comprimido a través de dichos lechos fijos puede ser inducido por medios de inyección y de extracción de gas comprimido colocados axialmente con respecto a dicho medio de almacenamiento.

50 Ventajosamente, dicho medio de almacenamiento puede comprender medios de inyección y de extracción de gas complementarios situados en al menos un nivel de dicha disposición distribuida en niveles de lechos fijos de partículas de almacenamiento.

55 Según un modo de implementación de la invención, dichos medios de inyección y de extracción de gas comprimido complementarios pueden comprender una rejilla de distribución intercalada entre dichos lechos constitutivos de dicho nivel.

60 Ventajosamente, una capa formada por un material térmicamente aislante puede acoplarse sobre una de las caras de dicha rejilla.

Además, la invención se refiere a un procedimiento de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido, en el que se realizan las etapas siguientes:

- 65 a) se comprime un gas;
b) se enfría dicho gas comprimido mediante intercambio de calor en un medio de almacenamiento de calor;
c) se almacena dicho gas enfriado;

- d) se calienta dicho gas comprimido enfriado mediante restitución del calor a dicho medio de almacenamiento de calor; y
- e) se expande dicho gas comprimido calentado para generar una energía,

5 caracterizado por que para almacenar y restituir el calor, dicho gas atraviesa dicho medio de almacenamiento de calor, comprendiendo dicho medio una disposición distribuida en niveles formada por al menos dos lechos fijos de partículas de almacenamiento de calor, y al menos un medio para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes.

10 Según un modo de implementación de la invención, se puede inyectar y extraer dicho gas en los extremos de dicho medio de almacenamiento de calor.

Ventajosamente, se puede inyectar y extraer dicho gas al nivel de al menos un lecho fijo intermedio.

15 Según un modo de implementación de la invención, se pueden implementar las siguientes etapas:

- i. se almacena el calor en una primera parte de dichos lechos fijos mediante un primer intercambio de calor con dicho gas;
- 20 ii. se almacena el calor en una segunda parte de dichos lechos fijos mediante un segundo intercambio de calor con dicho gas; y
- iii. se restituye el calor de dicha primera y/o segunda parte mediante intercambio de calor con dicho gas.

Breve presentación de las figuras

25 Otras características y ventajas del sistema y del procedimiento según la invención se desprenderán con la lectura de la descripción que sigue de ejemplos no limitantes de realizaciones, haciendo referencia a las figuras adjuntas y que se describen a continuación.

30 La figura 1 ilustra un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido según la invención.

35 Las figuras 2 y 3 ilustran un sistema de almacenamiento de calor según un modo de realización de la invención, respectivamente durante la carga y la descarga del medio de almacenamiento de calor. Las figuras 2 y 3 representan, además, los gradientes de temperatura en el seno del medio de almacenamiento de calor.

La figura 4 ilustra un sistema de almacenamiento de calor según un modo de realización de la invención, durante la carga del medio de almacenamiento de calor. La figura 4 representa, además, el gradiente de temperatura en el seno del medio de almacenamiento de calor.

40 La figura 5 ilustra un sistema de almacenamiento de calor según un modo de realización de la invención, durante la carga del medio de almacenamiento de calor.

La figura 6 ilustra un sistema de almacenamiento de calor según un modo de realización de la invención,

45 Las figuras 7a, 7b y 7c representan un medio de almacenamiento de calor según un modo de realización de la invención, respectivamente para tres cargas consecutivas. Las figuras 7a, 7b y 7c representan, además, los gradientes de temperatura en el seno del medio de almacenamiento de calor.

50 Las figuras 8a, 8b y 8c representan un medio de almacenamiento de calor según un modo de realización de la invención, respectivamente para tres descargas consecutivas. Las figuras 8a, 8b y 8c representan, además, los gradientes de temperatura en el seno del medio de almacenamiento de calor.

55 La figura 9 ilustra, esquemáticamente, los gradientes de temperatura entre dos instantes en un medio de almacenamiento de calor según el modo de realización de la figura 4.

Descripción detallada de la invención

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

- al menos un medio de compresión de gas (o compresor), y preferentemente varios medios de compresión de gas distribuidos en niveles. El medio de compresión de gas puede ser accionado por un motor, concretamente un motor eléctrico;
- 65 - al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido (también llamado depósito) mediante el medio de compresión del gas. El medio de almacenamiento del gas comprimido puede ser un depósito natural (por ejemplo,

una cavidad subterránea) o no. El medio de almacenamiento del gas comprimido puede estar en la superficie o bajo el suelo. Además, puede estar formado por un único volumen o por una pluralidad de volúmenes conectados o no entre sí;

- al menos un medio de expansión del gas (también llamado expansor o turbina), que permite expandir el gas comprimido y almacenado, y preferiblemente varios medios de expansión de gas distribuidos en niveles. El medio de expansión del gas permite generar una energía, concretamente una energía eléctrica por medio de un generador;
- al menos un medio de almacenamiento de calor, que permite el almacenamiento del calor procedente 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. Según la invención, el medio de almacenamiento de calor comprende una disposición distribuida en niveles formada por al menos dos lechos fijos, estando formado cada lecho fijo por partículas de almacenamiento de calor. Las partículas que forman cada uno de los lechos fijos intercambian calor con el gas durante las fases de almacenamiento y de restitución de energía, almacenándose este calor en las partículas entre estas dos fases. Se denomina lecho fijo a un conjunto de partículas de almacenamiento de calor, en el que las partículas están inmóviles. Se denomina una disposición de lechos distribuida en niveles, a lechos que están superpuestos unos encima de otros. Según la invención, dicho medio de almacenamiento de calor comprende al menos un medio para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes. Por gradiente térmico discontinuo, se entiende un gradiente térmico que presenta rupturas de pendiente, es decir que la derivada de la curva que representa la evolución de la temperatura en el medio de almacenamiento de calor según la invención no puede derivarse de forma continua.

Se utilizan los términos "medios de compresión distribuidos en niveles" (respectivamente "medios de expansión distribuidos en niveles"), cuando una pluralidad de medios de compresión (respectivamente de expansión) están montados sucesivamente unos tras otros en serie: el gas comprimido (respectivamente expandido) en la 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 denomina, entonces, un nivel de compresión o de expansión a un medio de compresión o de expansión de la pluralidad de medios de compresión o de expansión distribuidos en niveles. Ventajosamente, cuando el sistema comprende una pluralidad de niveles de compresión y/o de expansión, un medio de almacenamiento (de intercambio) de calor se dispone entre cada nivel de compresión y/o de expansión. De este modo, el gas comprimido se enfría entre cada compresión, lo que permite optimizar el rendimiento de la compresión siguiente, y el gas expandido se calienta 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. De manera alternativa, el sistema de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido (por ejemplo de tipo AACAES) según la invención puede contener un solo medio de compresión y un solo medio de expansión.

Según una variante de realización de la invención, los medios de compresión, distribuidos o no en niveles, pueden ser reversibles, es decir que pueden funcionar a la vez para la compresión y para la expansión. De este modo, es posible limitar el número de dispositivos utilizados en el sistema según la invención, lo que permite ahorrar peso y volumen en el sistema según la invención.

Según una variante de realización, los medios de intercambio de calor utilizados entre los niveles de compresión pueden ser los utilizados entre los niveles de expansión.

El sistema según la invención está adaptado para todo tipo de gas, concretamente para aire. En este caso, el aire en la entrada utilizado para la compresión puede tomarse del aire ambiente, y el aire en la salida tras la expansión puede ser soltado hacia el aire ambiente. En la siguiente descripción, solo se describirá la variante de realización con aire comprimido, y su aplicación AACAES. No obstante, el sistema y el procedimiento son válidos para cualquier otro gas.

Los medios de almacenamiento de calor permiten, durante el almacenamiento del gas comprimido (compresión), recuperar un máximo de calor procedente de la compresión del gas en la salida de los compresores, y disminuir la temperatura del gas antes del paso a la compresión siguiente o antes del almacenamiento del gas comprimido. Por ejemplo, el gas comprimido puede pasar de una temperatura superior a 150 °C (por ejemplo de aproximadamente 190 °C) a una temperatura inferior a 80 °C (por ejemplo de aproximadamente 50 °C). 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 de aproximadamente 50 °C), a una temperatura superior a 150 °C (por ejemplo de aproximadamente 180 °C).

La figura 1 ilustra un ejemplo de realización no limitativo de un sistema de almacenamiento y de restitución de la energía mediante gas comprimido según la invención, tal como un sistema AACAES. En esta figura, las flechas de trazo continuo ilustran la circulación del gas durante las etapas de compresión (almacenamiento de energía), y las flechas de puntos ilustran la circulación del gas durante las etapas de expansión (restitución de energía). Esta figura ilustra un sistema AACAES que comprende un solo nivel de compresión 12, un solo nivel de expansión 14 y un sistema de almacenamiento de calor 1. El sistema comprende un depósito de almacenamiento 13 del gas comprimido. El

sistema de almacenamiento de calor 1 está intercalado entre el nivel de compresión/expansión 12 o 14 y el depósito de almacenamiento 13 del gas comprimido. De manera convencional, en la fase de almacenamiento de energía (compresión), el aire se comprime inicialmente en el compresor 12, después se enfría en el sistema de almacenamiento de calor 1. El gas comprimido y enfriado se almacena en el depósito 13. Las partículas de almacenamiento de calor del sistema de almacenamiento de calor 1 están calientes tras el enfriamiento del gas comprimido en la fase de compresión. Durante la restitución de la energía (expansión), el gas comprimido almacenado se calienta en el sistema de almacenamiento de calor 1. A continuación, de manera convencional, el gas pasa a través de uno o varios niveles de expansión 14 (un nivel según el ejemplo ilustrado en figura 1).

5 El sistema según la invención no se limita al ejemplo de la figura 1. Otras configuraciones pueden concebirse: un número diferente de niveles de compresión y/o de expansión, la utilización de medios reversibles que garanticen la compresión y la expansión, etc.

10 Según la invención, el medio de almacenamiento de calor comprende al menos un medio para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes. Una discontinuidad del gradiente térmico en el seno del medio de almacenamiento permite limitar los movimientos de convección natural en el seno del medio de almacenamiento de calor, por lo que se evitan potencialmente generadores de zonas no homogéneas térmicamente (formación de bolsas frías) que perjudican la eficacia del sistema. Así pues, el medio de almacenamiento de calor del sistema de almacenamiento y de restitución de la energía mediante gas comprimido según la invención permite el control del gradiente térmico, y ello, en el seno de un solo y mismo medio de almacenamiento de calor. De este modo, el sistema según la invención ofrece una buena operabilidad en funcionamiento así como un coste ventajoso, al tiempo que permite un almacenamiento y una restitución de energía optimizados.

15 Según un modo de implementación de la invención, el medio de almacenamiento de calor tiene una forma sustancialmente cilíndrica. Por ejemplo el medio de almacenamiento de calor tiene la forma de una columna, que puede estar posicionada, por ejemplo, en vertical, correspondiendo el eje de la columna al eje vertical. Según un modo de implementación de la invención, los lechos fijos de partículas del medio de almacenamiento de calor están superpuestos según el eje de revolución del medio de almacenamiento de calor.

20 Según un modo de implementación de la invención, el medio de almacenamiento de calor comprende medios de inyección y de extracción de gas comprimido colocadas perpendicularmente a la dirección de la estratificación inducida por la superposición de lechos fijos de partículas. De este modo, el flujo de gas comprimido atraviesa la disposición distribuida en niveles de lechos fijos según una dirección principalmente axial con respecto a esta disposición distribuida en niveles. Según este modo de realización, el flujo de gas comprimido atraviesa los lechos fijos sucesivamente, unos tras otros, y, al comprender el medio de almacenamiento de calor según la invención al menos un medio para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes, se induce una estratificación térmica en el seno del medio de almacenamiento (con al menos una discontinuidad del gradiente térmico), siendo la temperatura relativamente homogénea en una dirección radial con respecto al apilado de los lechos.

25 Según un modo de implementación de la invención, un lecho fijo comprende una pared permeable al gas, tal como una rejilla, y un apilado de partículas de almacenamiento de calor sobre esta pared. Una disposición distribuida en niveles de tales lechos fijos facilita aguas arriba la carga homogénea de sólido granulado, y tiende a permitir una mejor homogeneidad radial de la temperatura, indispensable para el buen funcionamiento del sistema. Este modo de realización puede combinarse, de manera ventajosa y no limitativa, con los modos de realización que se ofrecen a continuación en la descripción que sigue.

30 Las figuras ilustrativas de modos de realización de la presente invención se expondrán a continuación de manera no limitativa y no exhaustiva según un medio de almacenamiento de calor que tiene la forma de una columna, estando los lechos fijos de partículas del medio de almacenamiento de calor superpuestos según el eje de revolución de la columna, y comprendiendo el medio de almacenamiento de calor medios de inyección y de extracción de gas perpendiculares a la estratificación inducida por el apilado de lechos fijos.

35 Según un modo de implementación de la invención, una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes se obtiene separando dichos lechos fijos por una capa que comprende un material térmicamente aislante, a través de los cuales puede circular el gas. El material aislante puede ser cualquier material de conductividad térmica muy baja conocido por el experto en la técnica. Según un modo de implementación en el que los lechos fijos comprenden una pared permeable al gas, entre tales lechos fijos se intercala una capa exenta de partículas sólidas (rellena de aire por ejemplo, siendo el aire el material térmicamente aislante). Las capas de aislante térmico permiten limitar la difusión de la temperatura de un lecho fijo de partículas a otro. La utilización de capas térmicamente aislantes permite así la obtención de una estratificación térmica (gradiente térmico discontinuo) en el seno del medio de almacenamiento de calor y una mejor redistribución del gas. Por otra parte, el hecho de separar los lechos fijos mediante capas de aislante térmico (con, además, una pared impermeable en el caso de una capa aislante exenta de sólido) permite un mejor reparto de las partículas sólidas en el medio de almacenamiento y, de este modo, limitar las heterogeneidades hidrodinámicas y térmicas que perjudican la eficacia del sistema.

65

Según un modo de implementación de la invención, una capa que comprende un material térmicamente aislante se intercala entre cada lecho fijo de partículas que forman el medio de almacenamiento de calor. El gradiente térmico en el seno del medio de almacenamiento de calor según la invención es, por tanto, un gradiente térmico por intervalos, lo que permite un aprovechamiento óptimo del sistema de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido según la invención.

Las figuras 2 y 3 ilustran un ejemplo de realización del medio de almacenamiento de calor 1 del sistema de almacenamiento y de restitución de la energía mediante gas comprimido, en el caso de la fase de almacenamiento (también llamada en adelante "carga"; figura 2) y en el caso de la fase de restitución (también llamada en adelante "descarga"; figura 3). Según esta variante del sistema según la invención, el medio de almacenamiento de calor 1 tiene la forma de una columna y está constituido por cinco lechos fijos 2 de partículas 3 dispuestos uno encima de otros, estando cada lecho separado de los lechos adyacentes por una capa de aislante térmico 4. Las figuras 2 y 3 presentan igualmente la dirección del flujo de gas comprimido, imprimido por medios de inyección y de extracción de gas comprimido 7 colocados perpendicularmente a la dirección de la estratificación inducida por los dos lechos fijos de partículas. Concretamente, las flechas oscuras representan la dirección principal del gas caliente mientras que las flechas claras representan la dirección principal del gas frío. Durante la carga del medio de almacenamiento de calor 1, ilustrada en la figura 3, el gas caliente GC (en la salida de los medios de compresión del gas) es inyectado por el extremo superior de la columna 1. De este modo, la disposición del medio de almacenamiento de calor según la invención impone una circulación del gas comprimido en el sentido axial con respecto a los lechos fijos, es decir que el fluido que ha de volver a calentarse o enfriarse circula, de un lecho a otro, en una dirección perpendicular al apilado de los lechos fijos que forman el medio de almacenamiento de calor, en el presente caso en la dirección axial del medio de almacenamiento de calor (en este caso de la columna). Durante la descarga del medio de almacenamiento de calor 1, ilustrada en la figura 3, el gas frío GF (en la salida de los medios de almacenamiento del gas comprimido o de un nivel de expansión) es inyectado por el extremo inferior de la columna 1. El gas frío GF atraviesa axialmente los lechos fijos 2, unos tras otros. Después, el gas caliente GC es extraído de la columna 1 por la parte superior para ser dirigido hacia los medios de expansión del sistema según la invención. A título ilustrativo, la evolución de la curva de temperaturas T en el seno del medio de almacenamiento según este modo de realización está representada artificialmente en estas figuras en trazo continuo. Puede observarse que el gradiente térmico presenta bastantes discontinuidades, de un lecho a otro, siendo inducidas las discontinuidades por las capas de aislante térmico intercaladas entre dos lechos fijos adyacentes.

Según otro modo de implementación, una discontinuidad del gradiente térmico entre dos lechos fijos adyacentes se obtiene utilizando partículas que contienen un material con cambio de fase (MCP) caracterizado por temperaturas de fusión diferentes para cada uno de los lechos fijos de partículas en cuestión. La utilización de materiales con cambio de fase con temperaturas de fusión diferentes para los lechos fijos del medio de almacenamiento de calor permite inducir un gradiente térmico por intervalos en el medio de almacenamiento, y, de este modo, limitar los fenómenos de difusión térmica de un lecho fijo de partículas a otro durante las fases de almacenamiento. Otra ventaja de estos materiales reside en el hecho de que permiten una reducción del volumen de la cuba, permitiendo almacenar una gran cantidad de energía en forma de calor latente. Un compromiso entre eficacia y coste puede encontrarse igualmente al mezclar MCP y materiales de almacenamiento por calor sensible en un mismo lecho. Entre los materiales con cambio de fase, pueden utilizarse los materiales siguientes: parafinas, cuya temperatura de fusión es inferior a 130 °C, sales que se funden a temperaturas superiores a 300 °C, así como mezclas (eutécticas) que permiten disponer de una gran variedad de temperaturas de fusión.

Según un modo de implementación de la invención, se coloca al menos un lecho fijo con partículas MCP en la proximidad de la entrada del medio de almacenamiento de calor y/o un lecho fijo con partículas MCP en la proximidad de la salida del medio de almacenamiento de calor. Por entrada del medio de almacenamiento de calor se entiende el lugar por el que se introduce el gas comprimido caliente en dicho medio, y se denomina salida del medio de almacenamiento de calor al lugar por el que sale el gas comprimido caliente de dicho medio. Obsérvese que la entrada y la salida del medio de almacenamiento de calor pueden variar en el transcurso del funcionamiento del sistema de almacenamiento de energía mediante gas comprimido según la invención. Esta configuración permite sacar provecho de las ventajas de los MCP para controlar el gradiente térmico y reducir el volumen de sólido al tiempo que se disminuye el coste global, siendo los MCP mayoritariamente más económicos que los materiales por calor sensible. Para esta variante, las temperaturas de fusión de los dos materiales con cambio de fase se eligen de manera que se asegure un cierto nivel de temperatura del aire frío hacia el almacenamiento (lado frío) y del aire caliente hacia la turbina del AACAES (lado caliente). Opcionalmente, un lecho fijo de partículas de material de almacenamiento por calor sensible puede colocarse antes del nivel del lecho fijo de MCP en el lado caliente, y/o después del nivel del lecho fijo de MCP en el lado frío, con vistas a absorber eventuales variaciones de la temperatura de entrada del medio de almacenamiento de calor (salida del compresor durante la carga, salida del almacenamiento de aire comprimido durante la descarga). En cualquier momento, los niveles de MCP contienen un frente de cambio de fase, con un cierto porcentaje de la masa en el estado sólido y el resto en el estado líquido.

De este modo, para este modo de realización, la temperatura en un material MCP que se encuentra a la temperatura del cambio de fase se mantiene constante durante el intercambio térmico, mientras se produce el cambio de fase (intercambio de calor latente). La principal ventaja de este modo de realización es, por tanto, asegurar una temperatura constante de entrada y de salida del sistema de almacenamiento de calor, que no varíe con los ciclos si la cantidad de MCP está correctamente dimensionada (es necesario que hayan 2 fases sólido/líquido en todo momento para asegurarse de mantener la T constante). De este modo, la ventaja principal de este modo de realización es la mejora del control del gradiente térmico.

La temperatura de fusión del MCP en el lado caliente puede estar comprendida entre 50 y 500 °C, más preferentemente entre 100 y 400 °C, y de manera aún más preferente entre 100 y 350 °C. La temperatura de fusión del MCP en el lado frío está comprendida entre 0 y 500 °C, más preferentemente entre 5 y 200, y de manera aún más preferente entre 10 y 100 °C.

Un ejemplo de este modo de realización se presenta en la figura 4. En este ejemplo, el medio de almacenamiento de calor 1 tiene la forma de una columna, situándose el lado caliente (respectivamente frío) arriba (respectivamente abajo) de la columna, y está formado por seis lechos fijos 2 de partículas, estando formados dos de estos lechos 2 por partículas MCP 5, y estando formados los otros cuatro lechos 2 por partículas por calor sensible 3. Según este ejemplo no limitativo de implementación de la invención, los lechos fijos de partículas MCP 5 están colocados en la segunda posición con respecto a la entrada y la salida del gas comprimido del medio de almacenamiento de calor. Durante la fase carga representada en la figura 4, el gas caliente GC (en la salida de los medios de compresión) se inyecta por el extremo superior de la columna 1. El gas caliente atraviesa axialmente los lechos fijos 2 pasando sucesivamente de uno a otro. Después, el gas enfriado GF es extraído de la columna 1 por la parte inferior para ser almacenado en los medios de almacenamiento del gas comprimido del sistema AACAES o bien para ser inyectado a una nueva etapa de compresión. Durante la descarga (no representada) del medio de almacenamiento de calor 1, el gas recorre el camino inverso (entrada del gas frío por abajo y salida del gas caliente por arriba). Los lechos de partículas MCP 5 así colocados permiten concretamente garantizar un buen mantenimiento en el tiempo de los intervalos térmicos en la entrada y la salida del medio de almacenamiento de calor. A título ilustrativo, la evolución de la curva de temperaturas T en el seno del medio de almacenamiento según este modo de realización está representada artificialmente en esta figura en trazo continuo. Puede observarse que el gradiente térmico presenta bastantes discontinuidades, de un lecho a otro, debido a la utilización de MPC que tiene temperaturas de fusión diferentes de un lecho a otro.

Según un modo particular de implementación de la invención, cada uno de los lechos fijos de partículas del medio de almacenamiento comprende partículas que contienen un material con cambio de fase (MCP) caracterizado por temperaturas de fusión diferentes. Las temperaturas de fusión de los diferentes materiales con cambio de fase se eligen con vista a asegurar un gradiente de temperaturas predeterminado en el lecho de múltiples niveles. Las desviaciones de temperatura en el interior de cada lecho con respecto a la media del lecho considerado son por tanto muy reducidas, y el gradiente térmico es por tanto un gradiente térmico por intervalos, estando cada intervalo diferenciado muy claramente del vecino, lo que permite un dominio muy bueno del gradiente de temperatura en el seno del medio de almacenamiento de calor. Opcionalmente, una capa de material de almacenamiento por calor sensible puede colocarse antes del primer nivel de MCP en el lado caliente, y/o después del último nivel de MCP en el lado frío, con vista a absorber eventuales variaciones de la temperatura de entrada del TES (salida del compresor durante la carga, salida del almacenamiento de aire comprimido o de un nivel de expansión durante la descarga).

Un ejemplo de realización de un modo de implementación de la invención de este tipo se presenta en la figura 5. En este ejemplo, el medio de almacenamiento de calor 1 tiene la forma de una columna, situándose el lado caliente (respectivamente frío) arriba (respectivamente abajo) de la columna, y está formado por seis lechos fijos 2 de partículas MCP 5. Las partículas MCP 5 de cada lecho fijo 2 poseen una temperatura de fusión diferente T1, T2, T3, T4, T5 y T6, con $T6 < T5 < T4 < T3 < T2 < T1$, estando el lecho fijo con los MCP que tienen la temperatura de fusión T1 en el lado caliente (inyección/extracción del gas caliente GC), y estando el lecho fijo con los MCP que tienen la temperatura de fusión T6 en el lado frío (inyección/extracción del gas frío GF). Durante la fase carga representada en la figura 5, el gas caliente GC (en la salida de los medios de compresión) se inyecta por el extremo superior de la columna 1. El gas caliente atraviesa axialmente los lechos fijos 2 pasando sucesivamente de uno a otro. Después, el gas enfriado GF es extraído de la columna 1 por la parte inferior para ser almacenado en los medios de almacenamiento del gas comprimido del sistema AACAES o bien para ser inyectado a una nueva etapa de compresión. Durante la descarga (no representada) del medio de almacenamiento de calor 1, el gas recorre el camino inverso (entrada del gas frío por abajo y salida del gas caliente por arriba). La ventaja principal de distribuir en niveles los MCP es un mayor dominio del gradiente térmico, y por tanto un mayor dominio de las temperaturas de entrada/salida del medio de almacenamiento en el transcurso de los ciclos de carga/descarga.

Según un modo de implementación de la invención, el medio de almacenamiento de calor del sistema de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido según la invención puede comprender, a la vez, uno o varios lechos fijos de partículas MCP y una o varias capas que comprenden un material térmicamente aislante, pudiendo estar un lecho fijo que comprende partículas MCP, por ejemplo, separado de otro lecho fijo, con MCP o no, mediante una capa de aislante térmico. Estos dos medios de mantenimiento de una temperatura homogénea en el seno de los lechos fijos, al tiempo que permiten discontinuidades del gradiente térmico, utilizados en combinación, permiten optimizar el dominio del gradiente térmico de temperaturas en el seno del medio de almacenamiento de calor.

El intervalo de temperaturas en el que puede funcionar el medio de almacenamiento de calor está comprendido entre 0° y 500 °C, más preferentemente entre 100 y 400 °C, y de manera aún más preferente entre 100 y 350 °C. Los niveles de temperatura dependen, a la vez, del procedimiento completo y del tipo de material utilizado para las partículas de los lechos fijos del medio de almacenamiento de calor.

En las configuraciones anteriormente descritas, los medios de inyección y de extracción del gas están previstos en los extremos del medio de almacenamiento de calor. Como variante, pueden estar previstos medios complementarios de inyección y de extracción del gas en niveles intermedios del medio de almacenamiento de calor. De este modo, el sistema de la presente invención puede estar dotado de puntos de inyección y de extracción complementarios en cada nivel (en cada lecho fijo), que permiten controlar, de manera ventajosa, el caudal de fluido que atraviesa cada nivel. Esta variante de realización es compatible con todas las configuraciones concebibles anteriormente descritas del medio de almacenamiento de calor.

Una ventaja de esta realización es que el sistema de inyección/extracción por nivel permite reducir las pérdidas de carga en el sistema y controlar mejor el gradiente de temperaturas en el lecho fijo. En efecto, las inyecciones/extracciones lo más cerca posible del gradiente térmico permiten limitar las pérdidas de carga (reduciéndose el número de lechos atravesados) al tiempo que se conservan buenos rendimientos de transferencia térmica. Así pues, y en función de la altura del gradiente térmico con respecto a la altura del lecho, puede obtenerse una disminución muy importante de la pérdida de carga. Para esta realización, el gradiente térmico es discontinuo entre los lechos fijos individualizados situados entre los medios complementarios de inyección y de extracción utilizados, es decir los lechos fijos que almacenan o restituyen calor.

Según un modo de implementación de la invención, los medios de inyección y de extracción complementarios del medio de almacenamiento de calor comprenden una rejilla de distribución que se intercalará entre dos lechos fijos de partículas. Obsérvese que el flujo de gas comprimido inducido por estos medios de inyección y de extracción complementarios comprende una componente radial local (al nivel de la rejilla y alrededor de la rejilla), pero el flujo de gas comprimido a través de los lechos de la disposición distribuida en niveles se mantiene, pese a todo, principalmente axial. Preferentemente, una capa de aislante térmico está acoplada a una de las caras de la rejilla, a fin de limitar los intercambios térmicos entre los lechos entre los cuales está acoplada la rejilla de distribución. La figura 6 presenta un ejemplo no limitativo de implementación de un medio de almacenamiento 1 que comprende medios de inyección y de extracción complementarios que comprenden una rejilla 6, así como una capa de aislante térmico 4, insertados entre cada nivel de lechos fijos 2 de partículas.

En las figuras 7a, 7b a 7c están ilustradas (de manera no limitativa) tres fases consecutivas de carga de un sistema de almacenamiento de calor que tiene la forma de una columna, situándose el lado caliente (respectivamente frío) arriba (respectivamente abajo) de la columna, y constituido por siete niveles de lechos fijos de partículas. El medio de almacenamiento de este modo de realización comprende medios principales de inyección (flechas oscuras) y extracción (flechas claras) 7, y, además, medios complementarios de inyección (flechas oscuras) y de extracción (flechas claras) 8 instalados en cada nivel, intercalados con una capa de aislante térmico. El gradiente de temperaturas T axial, al comienzo de cada una de estas fases, está representado artificialmente en el lecho de múltiples niveles mediante un trazo continuo. Durante la primera fase de carga (figura 7a), el gas caliente GC se inyecta por arriba y se distribuye por uno o varios niveles (el número de niveles puede variar en función del caudal por ejemplo). Según este ejemplo, la carga se realiza en tres niveles (figura 7a) al mismo tiempo, es decir que el fluido caliente atraviesa tres etapas antes de salir del medio de almacenamiento de calor por un primer medio de extracción complementario situado entre los lechos tercero y cuarto. Cuando se alcanza la temperatura de carga en estos niveles, la inyección se realiza por un medio complementario 8 directamente en uno de los niveles inferiores (figuras 7b y 7c). De este modo, la carga de un sistema de este tipo puede realizarse de forma secuencial, por nivel, o grupo de niveles, desde la entrada hacia la salida, lo que permite limitar las pérdidas de carga ya que el gas no atraviesa el conjunto de dicho lecho de partículas.

Para esta variante de realización, el proceso de descarga puede realizarse igualmente de forma secuencial, por grupo de niveles desde abajo del medio de almacenamiento hacia arriba. Durante esta fase, la descarga puede realizarse igualmente en un número de niveles diferente, tal como se ilustra en las figuras 8a a 8c donde la descarga se realiza por grupos de cinco o cuatro niveles.

La figura 9a ilustra un ejemplo de un ciclo de utilización de un sistema AACAES. Esta figura corresponde a la variación de la temperatura del gas en la entrada por el lado caliente T_{in} , fluido del medio de almacenamiento de calor. El ciclo de utilización comprende una primera fase de carga CH (almacenamiento de energía) entre los instantes t_0 y t_1 , después una segunda fase de almacenamiento ST (almacenamiento de energía) entre los instantes t_1 y t_2 , después una fase de descarga DE (restitución de la energía) entre los instantes t_2 y t_3 , y una fase de espera AT entre los instantes t_3 y t_0 .

Las figuras 9b y 9c representan la evolución temporal del perfil axial (es decir, a lo largo del eje de revolución del medio de almacenamiento de calor, siendo h la distancia tomada a lo largo de este eje) de la temperatura T en los lechos fijos, durante las fases de carga y descarga para el ciclo de utilización de la figura 9a. Para este ejemplo, el medio de almacenamiento de calor corresponde al modo de realización de la figura 4, para el cual el medio de almacenamiento de calor comprende dos lechos fijos con MCP, teniendo cada lecho fijo de MCP una temperatura de fusión diferente y estando colocado en la proximidad (en la segunda posición) de los extremos del medio de almacenamiento de calor. En estas figuras, los trazos verticales delimitan los lechos fijos que comprenden las partículas MCP. La figura 9b corresponde a la fase de carga CH de la figura 9a, y la figura 9c corresponde a la fase de descarga DE de la figura 9a.

En la figura 9a, se indica que al comienzo del ciclo (en t₀), el lecho fijo con las partículas MCP1 en el lado caliente del medio de almacenamiento de calor contiene un 50 % de la masa en el estado sólido y un 50 % en el estado líquido. Durante la carga, el gas caliente atraviesa el medio de almacenamiento de calor volviendo a entrar por el lado caliente. La fracción de líquido aumenta, entrando calor latente almacenado en el nivel con MCP1. La temperatura se mantiene constante (e igual a la temperatura de fusión del MCP1). Al final de la carga, un 90 % del MCP1 se encuentra en el estado líquido.

El gradiente de temperatura se establece en la parte del TES que está rellena de material de almacenamiento por calor sensible.

En el lado frío, el nivel de MCP2 contiene inicialmente un 10 % de líquido y un 90 % de sólido. Durante la carga, su temperatura se mantiene constante (e igual a la temperatura de fusión del MCP2). Al final de la carga, un 50 % del MCP2 se encuentra en el estado líquido.

El proceso se invierte durante la fase de descarga entre t₂ y t₃. En la figura 9c, se observa que el fluido frío vuelve a entrar por el lado frío y se vuelve a calentar, absorbiendo calor latente en el nivel MCP2 y disminuyendo la proporción del líquido en este nivel (que pasa de nuevo del 50 % al 10 %). La temperatura se mantiene siempre constante (e igual a la temperatura de fusión del MCP2).

Un nuevo gradiente de temperatura se establece en la parte del TES que está rellena de material de almacenamiento por calor sensible.

En el lado caliente, en el nivel de MCP1 la cantidad de líquido disminuye con el paso del fluido y pasa del 90 % al 50 %, conservando su temperatura siempre constante (e igual a la temperatura de fusión del MCP1).

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

- a) se comprime un gas, concretamente por medio de un compresor;
- b) se enfría el gas comprimido mediante intercambio de calor, en particular en un medio de almacenamiento de calor;
- c) se almacena el gas comprimido enfriado, concretamente mediante un medio de almacenamiento de gas comprimido;
- d) se calienta el gas comprimido almacenado, mediante intercambio de calor, en el medio de almacenamiento de calor; 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 medio de almacenamiento de calor comprende al menos dos lechos fijos de partículas de almacenamiento de calor y al menos un medio para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes. Esta disposición en múltiples niveles de lechos fijos de partículas combinada con medios de discontinuidad del gradiente térmico permite crear una estratificación térmica en el seno del medio de almacenamiento, pero también controlar mejor la porosidad en cada uno de los lechos, y por tanto evitar la formación de bolsas frías que perjudican la eficacia del sistema. De este modo, el almacenamiento y la restitución de energía se optimizan.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el procedimiento comprende varias etapas de compresión sucesivas, por medio de compresores colocados en serie, también llamadas compresiones distribuidas en niveles. En este caso, se reiteran las etapas a) y b) para cada nivel de compresión. De este modo, el gas se comprime y se enfría varias veces.

Según una característica de la invención, el procedimiento comprende varias etapas de expansión sucesivas, mediante medios de expansión colocados en serie, también llamadas expansiones distribuidas en niveles. En este caso, se reiteran las etapas d) y e) para cada nivel de expansión. De este modo, el gas se calienta y expande varias veces.

La etapa a) se refiere a la compresión de un gas, por ejemplo aire. Concretamente puede tratarse de aire tomado del medio ambiente.

- 5 La etapa b) permite enfriar el gas comprimido tras cada etapa de compresión, lo que permite optimizar el rendimiento de la compresión siguiente y/o el almacenamiento de energía. Los medios de almacenamiento de calor permiten, durante el almacenamiento del gas comprimido (compresión), recuperar un máximo de calor procedente de la compresión del gas en la 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 de aproximadamente 190 °C a una temperatura inferior a 80 °C, por ejemplo de aproximadamente 50 °C.
- 10 La etapa c) puede realizarse en el seno de un medio de almacenamiento del gas comprimido, que puede ser un depósito natural o no (por ejemplo una cavidad subterránea). El medio de almacenamiento del gas comprimido puede estar en la superficie o bajo el suelo. Además, puede estar formado por un único volumen o por una pluralidad de volúmenes conectados o no entre sí. Durante el almacenamiento, se cierra el medio de almacenamiento del gas comprimido.
- 15 El gas comprimido queda almacenado hasta el momento en el que se desee recuperar la energía almacenada. La etapa d) y las siguientes se realizan en el momento en el que se desee recuperar la energía almacenada.
- 20 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), pueden utilizarse las partículas de almacenamiento de calor que han servido para el enfriamiento 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 de aproximadamente 50 °C, a una temperatura superior a 150 °C, por ejemplo de aproximadamente 180 °C.
- 25 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 evacuarse hacia el medio ambiente.
- 30 El procedimiento según la invención puede implementarse mediante el sistema según una cualquiera de las variantes de la invención anteriormente descritas (solas o en combinación). El procedimiento según la invención puede comprender, en concreto, una etapa de almacenamiento y/o de restitución del calor que comprende una o varias de las características siguientes:
- 35
- un intercambio de calor en una pluralidad de lechos fijos,
 - una circulación del gas axial de un lecho a otro
 - una inyección y una extracción del gas por los extremos del medio de almacenamiento de calor y/o en niveles intermedios,
 - las partículas de almacenamiento de calor pueden ser partículas de material con cambio de fase, estas partículas MCP pueden estar colocadas en lechos fijos situados en la proximidad de los extremos del medio de almacenamiento de calor,
 - una circulación del gas caliente desde la parte superior hacia la parte inferior de la columna, o a la inversa desde la parte inferior hacia la parte superior de la columna...
- 40
- 45 Según una variante de realización del procedimiento, la carga y la descarga del medio de almacenamiento de calor pueden ser secuenciales. En particular, para el modo de realización, para el cual se inyecta y/o se extrae el gas en niveles intermedios (figuras 7 y 8), el procedimiento puede comprender las etapas siguientes:
- 50
- i) se almacena el calor en una primera parte de los lechos fijos mediante un primer intercambio de calor con dicho gas, por ejemplo con los lechos fijos superiores del medio de almacenamiento de calor, inyectándose el gas caliente en el medio de almacenamiento de calor mediante medios de inyección y de extracción situados en la parte superior del medio de almacenamiento de calor, extrayéndose el gas frío del medio de almacenamiento de calor mediante medios de inyección y de extracción situados en un nivel intermedio del medio de almacenamiento de calor;
 - 55 ii) se almacena el calor en una segunda parte de los lechos fijos mediante un segundo intercambio de calor con dicho gas, por ejemplo con los lechos fijos inferiores del medio de almacenamiento de calor, inyectándose el gas caliente en el medio de almacenamiento de calor mediante medios de inyección y de extracción situados en la parte intermedia del medio de almacenamiento de calor, y extrayéndose el gas frío del medio de almacenamiento de calor mediante medios de inyección y de extracción situados en un nivel intermedio, o en la parte inferior del medio de almacenamiento de calor; y
 - 60 iii) se restituye el calor de dicha primera y/o segunda parte mediante intercambio de calor con dicho gas, inyectándose el gas frío en el medio de almacenamiento de calor mediante medios de inyección y de extracción situados en la parte inferior del medio de almacenamiento de calor, y extrayéndose el gas caliente del medio de almacenamiento de calor mediante medios de inyección y de extracción situados en un nivel intermedio, o en la parte superior del medio de almacenamiento de calor.
- 65 Este modo de realización permite limitar las pérdidas de carga en el seno del medio de almacenamiento de calor.

Ventajosamente, las etapas i) e ii) pueden repetirse para otras partes de los lechos fijos del medio de almacenamiento de calor.

- 5 Según una variante, puede restituirse el calor para solamente una parte de los lechos fijos del medio de almacenamiento de calor.

El procedimiento y el sistema según la invención pueden utilizarse para el almacenamiento de una energía intermitente, tal como la energía eólica o solar, con el fin de poder utilizar esta energía en el momento deseado.

10

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido que comprende al menos un medio de compresión (12) de gas, al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido (13), al menos un medio de expansión (14) de dicho gas comprimido para generar una energía, y al menos un medio de almacenamiento de calor (1), comprendiendo dicho medio de almacenamiento de calor (1) una disposición distribuida en niveles formada por al menos dos lechos fijos (2) de almacenamiento de calor, y al menos un medio (4,5) para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos (2) adyacentes, caracterizado por que los dos lechos son lechos de partículas de almacenamiento de calor.
- 10 2. Sistema según la reivindicación 1, en el que dichos dos lechos fijos (2) están separados por una pared permeable a dicho gas.
- 15 3. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que uno de dichos medios de discontinuidad de dicho gradiente térmico comprende una capa formada por un material térmicamente aislante (4), separando dicha capa al menos dos de dichos lechos fijos (2).
- 20 4. Sistema según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que uno de dichos medios de discontinuidad de dicho gradiente térmico está formado por al menos dos de dichos lechos fijos (2) que comprenden partículas de material con cambio de fase (5).
- 25 5. Sistema según la reivindicación 4, en el que al menos dos de dichos lechos fijos (2) comprenden partículas de material con cambio de fase (5) de temperatura de fusión diferente y están situados cada uno en la proximidad de uno de los extremos de dicho medio de intercambio de calor (1).
- 30 6. Sistema según la reivindicación 4, en el que al menos dos de dichos lechos fijos (2) comprenden partículas de material con cambio de fase (5) de temperatura de fusión diferente y están situados en la segunda posición de dicha disposición contando a partir de un extremo de dicho medio de intercambio de calor (1).
- 35 7. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que un paso principalmente axial de dicho gas comprimido a través de dichos lechos fijos (2) es inducido por medios de inyección y de extracción de gas comprimido (7) colocados perpendicularmente a dicha disposición distribuida en niveles de dichos lechos (2).
- 40 8. Sistema según la reivindicación 7, en el que dicho medio de almacenamiento (1) comprende medios de inyección y de extracción de gas complementarios (6) situados en al menos un nivel de dicha disposición distribuida en niveles de lechos fijos (2) de partículas de almacenamiento.
- 45 9. Sistema según la reivindicación 8, en el que dichos medios de inyección y de extracción de gas comprimido complementarios (6) comprenden una rejilla de distribución intercalada entre dichos lechos constitutivos (2) de dicho nivel.
- 50 10. Sistema según la reivindicación 9, en el que una capa formada por un material térmicamente aislante (4) está acoplada sobre una de las caras de dicha rejilla.
- 55 11. Procedimiento de almacenamiento y de restitución de energía mediante gas comprimido, utilizando un sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que se realizan las etapas siguientes:
a) se comprime un gas;
b) se enfría dicho gas comprimido mediante intercambio de calor en un medio de almacenamiento de calor (1);
c) se almacena dicho gas enfriado;
d) se calienta dicho gas comprimido enfriado mediante restitución del calor a dicho medio de almacenamiento de calor (1); y
e) se expande dicho gas comprimido calentado para generar una energía,
caracterizado por que para almacenar y restituir el calor, dicho gas atraviesa dicho medio de almacenamiento de calor, comprendiendo dicho medio una disposición distribuida en niveles formada por al menos dos lechos fijos (2) de partículas de almacenamiento de calor, y al menos un medio (4,5) para formar una discontinuidad del gradiente térmico entre al menos dos lechos adyacentes.
- 60 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que se inyecta y se extrae dicho gas por los extremos de dicho medio de almacenamiento de calor.
- 65 13. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que se inyecta y se extrae dicho gas al nivel de al menos un lecho fijo intermedio.

14. Procedimiento según la reivindicación 12, en el que se implementan las etapas siguientes:

- i) se almacena el calor en una primera parte de dichos lechos fijos mediante un primer intercambio de calor con dicho gas;
- 5 ii) se almacena el calor en una segunda parte de dichos lechos fijos mediante un segundo intercambio de calor con dicho gas; y
- iii) se restituye el calor de dicha primera y/o segunda parte mediante intercambio de calor con dicho gas.

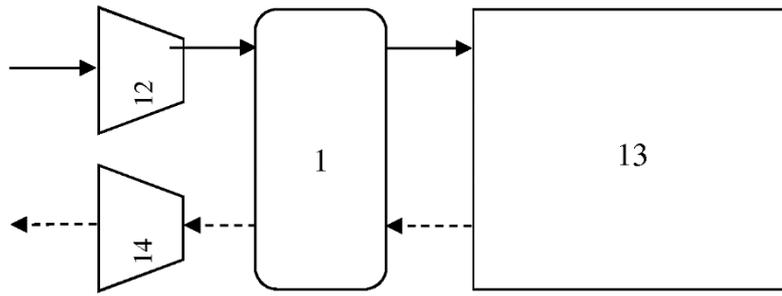


Figura 1

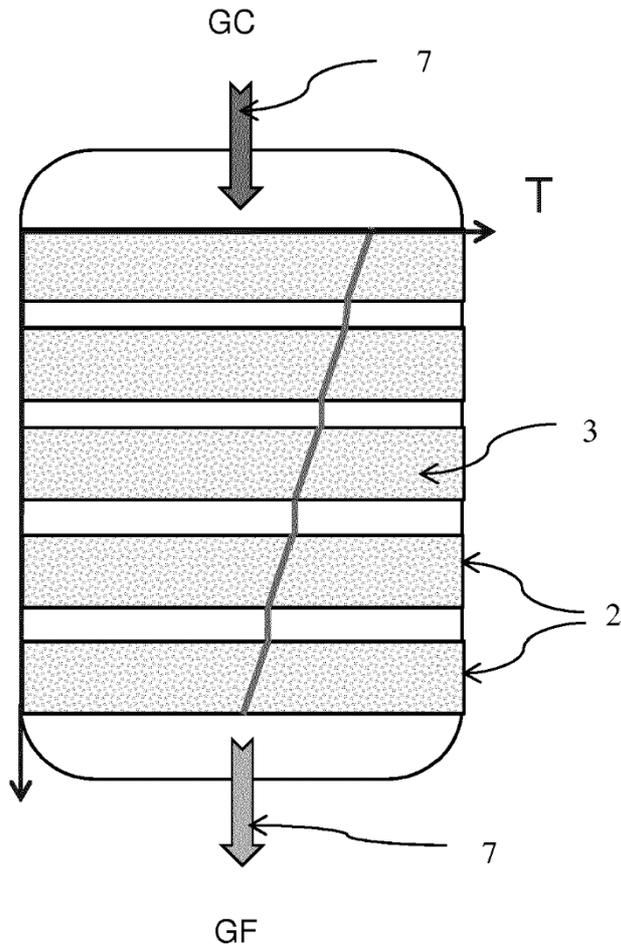


Figura 2

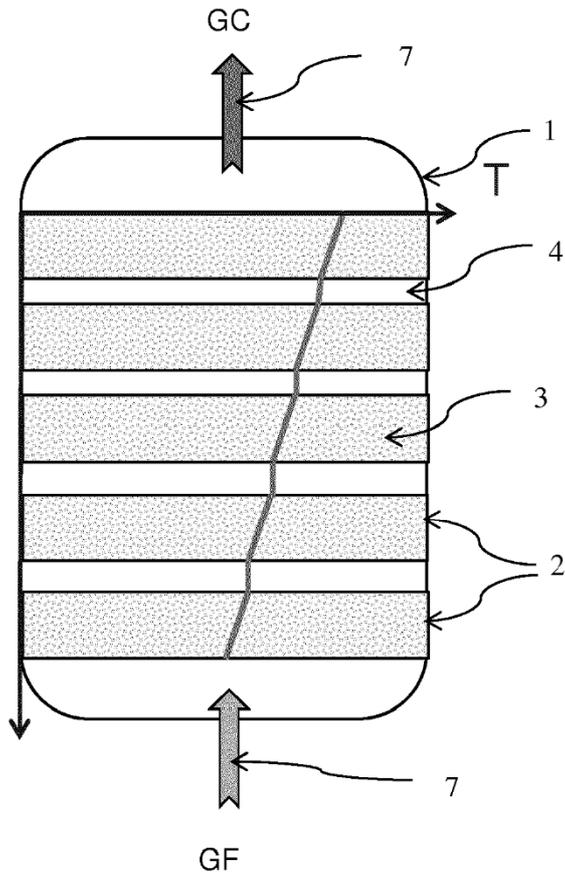


Figura 3

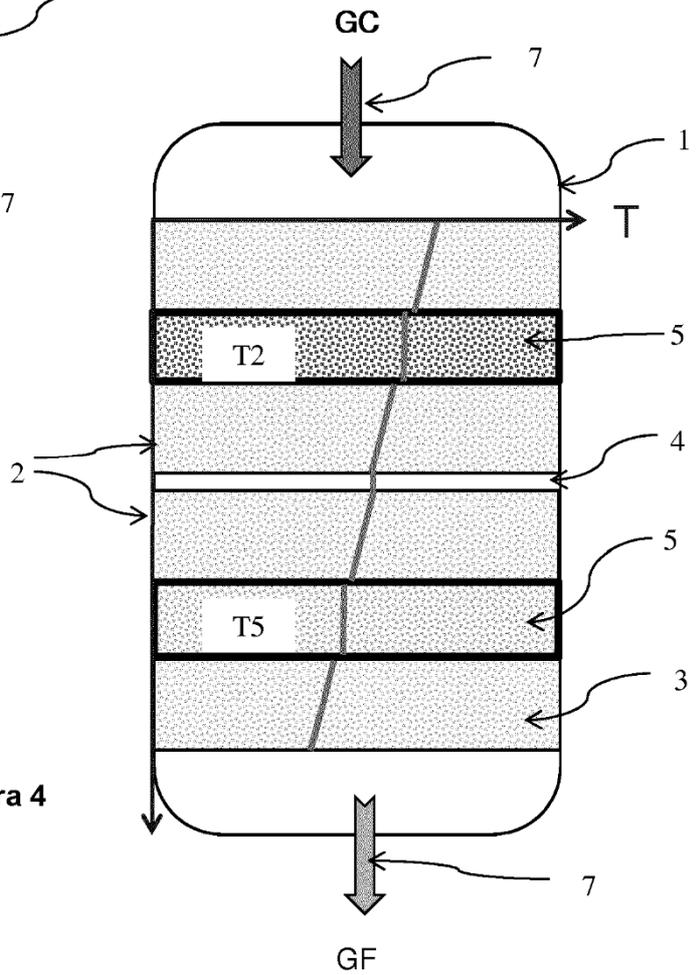


Figura 4

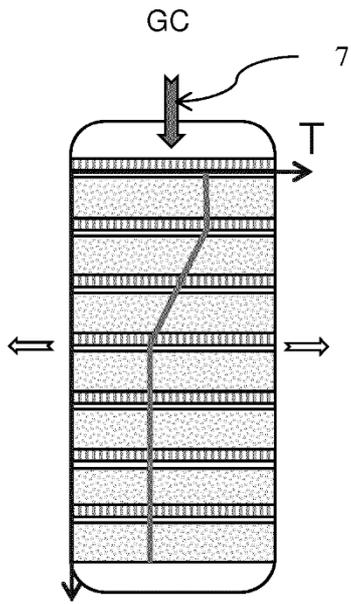


Figura 7a

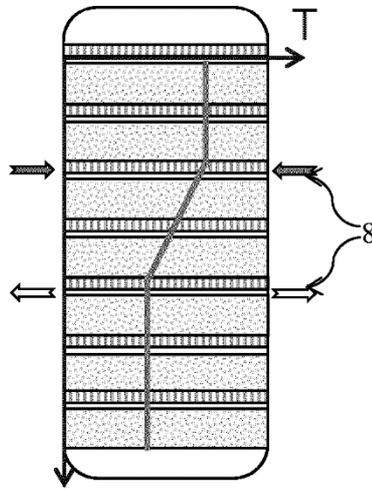


Figura 7b

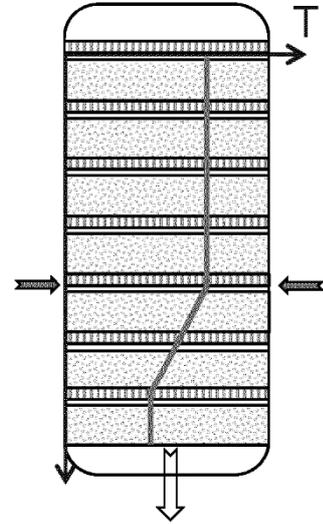


Figura 7c

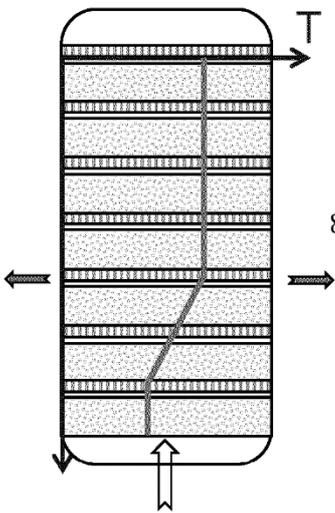


Figura 8a

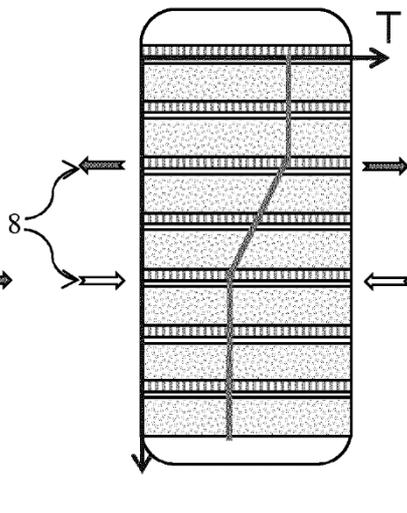


Figura 8b

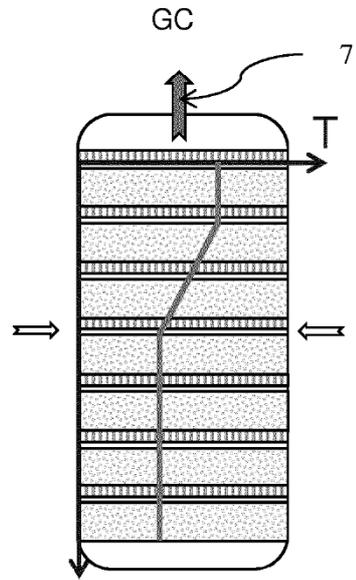


Figura 8c

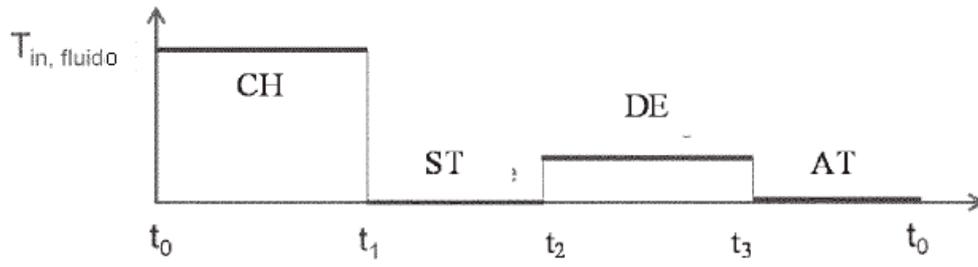


Figura 9a

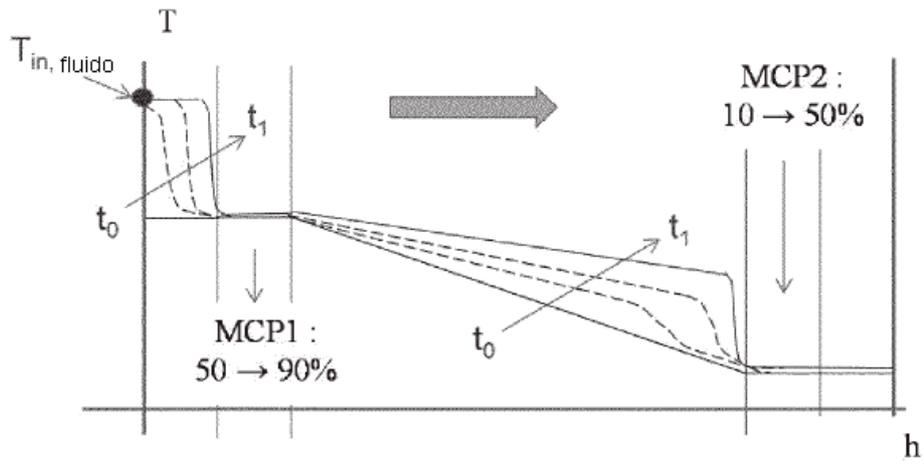


Figura 9b

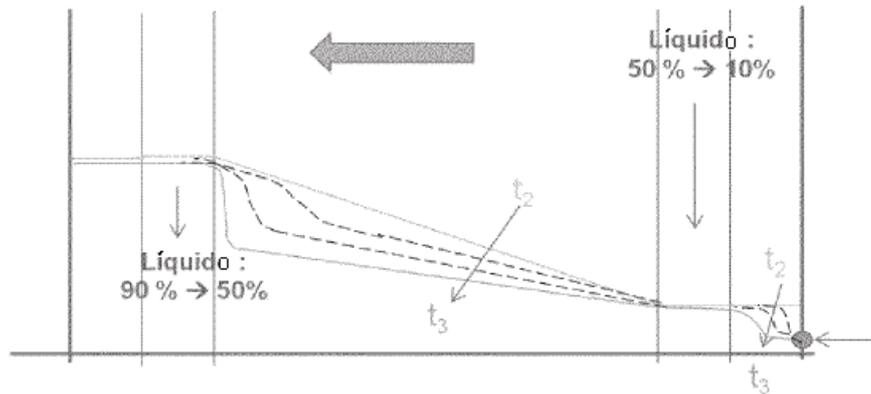


Figura 9c