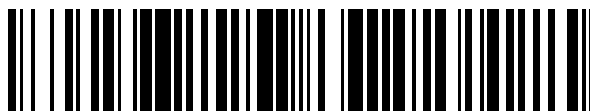


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 635**

51 Int. Cl.:

F28D 20/00 (2006.01)

F02C 6/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2017** **PCT/EP2017/058874**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.11.2017** **WO17198397**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2017** **E 17716272 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020** **EP 3458791**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de almacenamiento y de restitución del calor que comprende al menos dos volúmenes de almacenamiento del calor concéntricos**

30 Prioridad:

18.05.2016 FR 1654395

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

05.08.2020

73 Titular/es:

IFP ENERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4 Avenue de Bois-Préau
92852 Rueil-Malmaison, FR

72 Inventor/es:

RICHARD, FLORENCE;
TEIXEIRA, DAVID y
DELEAU, FABRICE

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 777 635 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

Dispositivo y procedimiento de almacenamiento y de restitución del calor que comprende al menos dos volúmenes de almacenamiento del calor concéntricos

La presente invención se refiere al campo del almacenamiento y de la restitución de calor, en particular para el almacenamiento del calor en un sistema o un procedimiento de tipo AACAES (del inglés "Advanced Adiabatic - Compressed Air Energy Storage", almacenamiento de energía de aire comprimido adiabático avanzado). La presente invención se refiere, más particularmente, a un dispositivo tal como se ha definido en el preámbulo de la reivindicación 1 y tal como se ha divulgado por el documento EP 2 400 250.

En un sistema de almacenamiento de energía mediante aire comprimido (CAES), la energía, que se desea utilizar en otro momento, se almacena en forma de aire comprimido. Para el almacenamiento, una energía, concretamente eléctrica, acciona compresores de aire y para el desalmacenamiento, el aire comprimido acciona turbinas, que pueden estar unidas 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 título de ejemplo, se vuelve a calentar aire comprimido a 8 MPa (80 bar) durante la compresión hasta aproximadamente 150 °C, pero se enfría antes del almacenamiento. Por lo demás, 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, es decir, aproximadamente 27 °C). El aire se enfría por lo tanto hasta temperaturas no realistas (83 K, es decir -191 °C). Por lo tanto, es necesario volver a calentarlo, lo que puede hacerse con ayuda de un quemador de gas u otro carburante.

Existen varias variantes actualmente para 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 alta temperatura debida a la compresión. No obstante, este tipo de sistema necesita unos medios de almacenamiento específico del gas comprimido, 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 se almacena, igualmente, por separado, en un sistema de almacenamiento del calor TES (del inglés "Thermal Energy Storage"). El calor almacenado en el TES se utiliza para calentar el aire antes de su expansión. Según ciertos diseños considerados, el calor se almacena en el sistema de almacenamiento por medio de partículas sólidas.

Por otra parte, los sistemas de intercambio de calor de este tipo se utilizan en otros campos: el almacenamiento de la energía solar, marina, en los procedimientos de metalurgia, etc.

Uno de los criterios de diseño de los dispositivos de intercambio, de almacenamiento y de restitución del calor es su resistencia a las altas presiones y altas temperaturas de los fluidos que intercambian el calor. Esta resistencia a las altas presiones y a las altas temperaturas se realiza generalmente gracias a espesores importantes de los elementos de la estructura de estos sistemas de intercambio y de almacenamiento del calor, lo que implica una masa elevada y un coste importante.

Por lo demás, cuando es necesario almacenar calor procedente de fluidos a temperaturas y/o presiones distintas, es necesario tener al menos dos sistemas de almacenamiento del calor TES, lo que hace el sistema voluminoso (superficie en el suelo necesaria importante).

Con el fin de paliar estos inconvenientes, la solicitud de patente US 2011/0127004 A1 propone varias soluciones de diseño de un sistema de almacenamiento del calor. Una de las soluciones consideradas consiste en realizar un sistema de almacenamiento de calor con dos volúmenes concéntricos de almacenamiento del calor. Este diseño no es óptimo en términos de espesores de las paredes que delimitan los volúmenes, en efecto, la pared exterior está sometida a una diferencia de presión elevada, lo que hace obligatoria la utilización de una pared externa espesa. Por lo demás, la adaptación de esta solución a altas presiones superiores a 100 bar necesita, igualmente, el aumento de los espesores de las paredes, lo que implica una masa elevada y un coste importante.

La presente invención se refiere a un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor que incluye al menos dos volúmenes concéntricos de almacenamiento del calor. Las paredes que delimitan estos volúmenes de almacenamiento están configuradas de tal modo que el espesor de la pared que delimita el volumen central de almacenamiento sea superior al espesor de la pared que delimita el volumen periférico de almacenamiento. De este modo, es posible almacenar el calor procedente de un fluido a alta presión en el volumen central y el calor procedente de un fluido a presión menos elevada en el volumen periférico. De esta manera, la diferencia de presión, a la que está sometida cada pared se reduce. Este diseño permite, igualmente, una utilización del dispositivo a altas presiones,

mientras optimiza la masa y el coste del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor.

El dispositivo y el procedimiento según la invención

5 La invención se refiere a un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor que comprende al menos dos volúmenes de almacenamiento del calor delimitados por paredes concéntricas, comprendiendo dichos volúmenes de almacenamiento del calor un material de almacenamiento del calor. Los espesores de dichas paredes consecutivas que delimitan dichos volúmenes de almacenamiento del calor son decrecientes de dicha pared que delimita dicho volumen central de almacenamiento del calor hacia dicha pared que delimita dicho volumen periférico de almacenamiento del calor.

Según un modo de realización de la invención, dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor incluye al menos tres volúmenes concéntricos de almacenamiento del calor.

15 Ventajosamente, dichas paredes están realizadas de metal, concretamente de acero.

De acuerdo con una implementación, dichas paredes están formadas por ensamblaje de al menos una chapa enrollada monocapa o multicapa, concretamente por ensamblaje por soldeo.

20 De manera ventajosa, dichas paredes están reforzadas por al menos un anillo circunferencial.

Según una variante, dicha pared que delimita el volumen de almacenamiento del calor situado en la periferia de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor está recubierta con un material aislante.

25 De acuerdo con un modo de realización, dicho material de almacenamiento del calor está formado por bolas de hormigón.

Según una característica, dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor incluye al menos una barra y/o una placa de refuerzo dispuesta entre dichas paredes (2).

30 Según una opción de realización, cada volumen de almacenamiento del calor está formado por una pluralidad de módulos asociados en serie y/o en paralelo.

35 Por lo demás, la invención se refiere a un procedimiento de almacenamiento y de restitución del calor por medio de un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor según una de las características anteriores, en el que se realizan las siguientes etapas:

40 a) se hace circular un fluido a una primera presión P1 en un primer volumen de almacenamiento de calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor; y
b) se hace circular dicho fluido a una segunda presión P2 en un segundo volumen de almacenamiento del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, siendo dicha segunda presión P2 superior a dicha primera presión P1 y estando dicho segundo volumen de almacenamiento del calor situado en el interior de dicho primer volumen de almacenamiento del calor.

45 Según un modo de realización, la etapa b) se repite para hacer circular dicho fluido consecutivamente en cada volumen de almacenamiento del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor.

Además, la invención se refiere a un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido que comprende al menos dos medios de compresión de dicho gas, al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido, al menos dos medios de expansión de dicho gas comprimido para generar una energía. Dicho sistema de almacenamiento y de recuperación de energía incluye un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor según una de las características anteriores, siendo un primer volumen de almacenamiento del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor adecuado para enfriar el gas comprimido entre dichos medios de compresión del gas y/o adecuado para calentar el gas entre dichos medios de expansión del gas y siendo un segundo volumen de almacenamiento del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, interior a dicho primer volumen de almacenamiento del calor, adecuado para enfriar el gas comprimido entre un medio de compresión del gas y dicho medio de almacenamiento del gas comprimido y/o adecuado para calentar el gas comprimido entre dicho medio de almacenamiento del gas comprimido y un primer medio de expansión del gas.

60 Ventajosamente, dicho sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido incluye al menos tres medios de compresión de gas y al menos tres medios de expansión del gas y dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor incluye al menos tres volúmenes de almacenamiento del calor.

65 La invención se refiere, igualmente, a un procedimiento de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido. El procedimiento comprende las siguientes etapas por medio de un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía según una de las características anteriores:

- a) se comprime un gas;
- b) dicho gas comprimido se enfría en un primer volumen de almacenamiento del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor;
- c) se comprime dicho gas enfriado;
- d) dicho gas comprimido se enfría en un segundo volumen de almacenamiento del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, estando dicho segundo volumen de almacenamiento del calor situado en el interior de dicho primer volumen de almacenamiento del calor;
- e) se almacena dicho gas enfriado;
- f) dicho gas almacenado se calienta en dicho segundo volumen de almacenamiento del calor;
- g) dicho gas calentado se expande para generar una energía;
- h) dicho gas expandido se calienta en dicho primer volumen de almacenamiento del calor; y
- i) se expande dicho gas calentado.

Según una implementación, las etapas c) y d) y/o h) e i) se repiten para cada medio de compresión del gas y/o para cada medio de expansión del gas.

Breve presentación de las figuras

Otras características y ventajas del dispositivo y del procedimiento según la invención, surgirán a la lectura de la descripción a continuación de ejemplos no limitativos de realizaciones, haciendo referencia a las figuras adjuntas y descritas a continuación.

Las figuras 1a y 1b ilustran en vista en sección un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor según un modo de realización de la invención.

La figura 2 ilustra una pared reforzada por unos anillos circunferenciales según un modo de realización de la invención.

La figura 3 ilustra de manera esquemática un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido según un modo de realización de la invención.

La figura 4 ilustra de manera esquemática un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido según otro modo de realización de la invención.

La figura 5 es un gráfico que ilustra una comparación entre los diámetros de las paredes de un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor según la invención y según la técnica anterior.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, denominado en la continuación de la descripción "dispositivo de almacenamiento del calor". El objetivo del dispositivo de almacenamiento del calor es almacenar calor procedente de un fluido caliente y restituir este calor a un fluido frío. El dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor según la invención incluye al menos dos volúmenes de almacenamiento del calor delimitados por unas paredes concéntricas. De este modo, el dispositivo de almacenamiento del calor incluye al menos un volumen de almacenamiento sustancialmente cilíndrico, igualmente, denominado volumen central y al menos un volumen de almacenamiento anular, dispuesto alrededor del volumen de almacenamiento cilíndrico. Una primera pared está dispuesta alrededor del volumen cilíndrico de almacenamiento de calor y delimita de este modo el volumen central de almacenamiento del calor. Una segunda pared está dispuesta alrededor del volumen anular. Por lo tanto, el volumen anular está delimitado por las primera y segunda paredes. El volumen de almacenamiento del calor delimitado por la pared más externa se denomina volumen periférico de almacenamiento de calor. En otras palabras, el volumen periférico es el volumen de almacenamiento del calor más exterior y no está rodeado por ningún otro volumen de almacenamiento del calor (a diferencia de los otros volúmenes de almacenamiento que están rodeados por al menos otro volumen de almacenamiento). Las paredes tienen, preferentemente, una forma sustancialmente cilíndrica y son preferentemente verticales.

Cada volumen de almacenamiento del calor incluye un material de almacenamiento del calor. Un material de almacenamiento del calor es un material adecuado para intercambiar calor con un fluido. Es adecuado para enfriar un fluido caliente, almacenando calor y adecuado para calentar un fluido frío restituyendo calor. El material de almacenamiento del calor puede ser de cualquier tipo, por ejemplo, en la forma de elementos unitarios, concretamente en forma de bolas. Las bolas pueden tener un diámetro comprendido entre 1 y 50 mm. El material puede ser un material de cambio de fase (MCF) o un hormigón o cualquier material similar. Según un ejemplo de realización adaptado para la utilización del dispositivo de almacenamiento de calor para un sistema de tipo AACAES, el material de almacenamiento del calor puede comprender bolas de hormigón de diámetro superior a 10 mm. Este material de almacenamiento presenta la ventaja de que, durante cambios de temperatura, las variaciones de diámetro de los diferentes componentes no plantean problema.

Según la invención, los espesores de las paredes consecutivas que delimitan dichos volúmenes de almacenamiento del calor son decrecientes (no estrictamente, es decir, decrecientes o iguales) de la pared que delimita el volumen central de almacenamiento del calor hacia la pared del volumen periférico de almacenamiento del calor. En otras

palabras, la pared que delimita el volumen central tiene un espesor e_1 , que es superior o igual a un espesor e_2 de la pared que delimita un primer volumen anular que rodea el volumen central, que en sí mismo es superior o igual al espesor e_3 de la pared que delimita un segundo volumen anular que rodea el primer volumen anular y de este modo sucesivamente. Si el dispositivo de almacenamiento de calor incluye N volúmenes de almacenamiento de calor separados por N paredes de espesores respectivos e_i (variando i de 1 a N , 1 correspondiente a la pared del volumen central y N a la pared del volumen periférico), se puede escribir la siguiente desigualdad: $e_N \leq e_{N-1} \leq \dots \leq e_3 \leq e_2 \leq e_1$, con al menos una de las desigualdades que es una desigualdad estricta. Gracias a este diseño, el volumen central de almacenamiento de calor está adaptado para recibir un fluido que tiene una presión superior a los volúmenes de almacenamiento de calor anulares y el volumen periférico de almacenamiento está adaptado para recibir un fluido a una presión inferior a los otros volúmenes de almacenamiento de calor. De este modo, esta configuración permite limitar la diferencia de presión al nivel de cada pared. En efecto, como la pared del volumen central de almacenamiento del calor (destinado a recibir las presiones más elevadas) está sometida a una escasa diferencia de presión, esta pared central no requiere ser tan espesa como cuando la diferencia de presión es elevada.

Los diferentes modos realización descritos más abajo se pueden combinar, para combinar sus efectos.

Preferentemente, el dispositivo de almacenamiento del calor incluye al menos tres volúmenes de almacenamiento de calor concéntricos (por lo tanto, al menos tres paredes). De manera preferente, el dispositivo de almacenamiento del calor incluye tres o cuatro volúmenes de almacenamiento del calor (por lo tanto, tres o cuatro paredes). Esta configuración está particularmente adaptada para los sistemas de tipo AACAES que generalmente incluyen tres o cuatro estadios de compresión. En efecto, esto permite tener variaciones de presión menores entre dos TES consecutivos, lo que disminuye en gran medida los espesores de las paredes. Por lo demás, esta configuración está particularmente adaptada para las presiones elevadas, limitando la masa y el coste del dispositivo de almacenamiento del calor.

Las paredes del dispositivo de almacenamiento del calor están destinadas a recoger el peso del material de almacenamiento del calor y la diferencia de presión. Por lo demás, para ciertas aplicaciones del dispositivo de almacenamiento del calor, las paredes pueden estar sometidas a temperaturas del orden de 300 °C.

Según un diseño de la invención, las paredes pueden ser de metal, concretamente de acero, con el fin de satisfacer estos criterios. Como alternativa, se pueden considerar otros materiales.

Las paredes de metal pueden obtenerse por ensamblaje, por ejemplo, por soldeo, de una chapa enrollada. La pared puede ser monocapa (de un solo espesor). Como alternativa, la pared puede ser realizada por ensamblaje, por ejemplo, por soldeo, de chapas enrolladas en multicapas. Esta realización multicapas permite tener espesores de chapa unitaria de espesor más escaso que una chapa monocapa, lo que permite facilitar el trabajo de conformación. Una variante de esta realización multicapas puede implementarse por ensamblaje de las capas superiores con una pretensión con el fin de realizar una pared multicapas con zunchado en las capas exteriores, lo que permite optimizar la cantidad de material necesario para la realización de las paredes.

Según una implementación, la pared puede ser reforzada, por ejemplo, por al menos un anillo circunferencial, lo que permite realizar una pared de espesor más escaso y agregar refuerzos fácilmente para resistir las sollicitaciones debidas a la presión de los fluidos. El anillo circunferencial puede ser preferentemente de metal, concretamente de acero. La pared puede ser reforzada por un número de anillos circunferenciales comprendido entre seis y veinte, preferentemente entre diez y quince.

Según una configuración, todas las paredes pueden realizarse de la misma manera, solo varía su espesor. Como alternativa, las paredes pueden ser de diferentes tipos (monocapa, multicapas, con o sin refuerzo...).

Según un modo de realización de la invención, la pared que delimita el volumen periférico de almacenamiento del calor está recubierta con un material aislante. De este modo, es posible mantener la temperatura en el interior del dispositivo de almacenamiento del calor, lo que favorece el almacenamiento del calor. La capa de aislante puede habilitarse en el exterior y/o en el interior de la pared que delimita el volumen periférico de almacenamiento. La capa de aislante no permite recoger los diferentes esfuerzos, por consiguiente, la capa de aislante no forma parte de la pared: el espesor de la capa de aislante no debe tenerse en cuenta en el espesor de la pared del volumen periférico.

Debido a que los volúmenes de almacenamiento del calor están habilitados de manera concéntrica, es posible utilizar menos cantidad de material de aislamiento con respecto a los sistemas de la técnica anterior. En efecto, los volúmenes de almacenamientos internos (los más centrales) están aislados por aquellos de mayor diámetro, solo la pared del volumen periférico de almacenamiento del calor debe estar aislada, a diferencia de los dispositivos de almacenamiento del calor convencionales.

Según un modo de realización de la invención, el dispositivo de almacenamiento del calor puede incluir al menos una barra de refuerzo y/o al menos una placa de refuerzo, pudiendo esta placa de refuerzo ser perforada. Esta barra y/o esta placa de refuerzo está dispuesta entre las paredes, sustancialmente de manera ortogonal a las paredes, para mantener el posicionamiento de las paredes entre sí en las partes anulares.

Por lo demás, el dispositivo de almacenamiento del calor puede comprender al menos una rejilla, dispuesta entre las paredes, esta rejilla permite soportar el peso del material de almacenamiento del calor.

Según un modo de realización, el dispositivo de almacenamiento del calor puede diseñarse en forma de varios módulos en serie y/o paralelo para facilitar su instalación y su transporte, teniendo de este modo elementos de tamaños y de pesos reducidos. Estos diferentes elementos pueden estar a presiones ligeramente diferentes, variando, por ejemplo, de 70 a 120 bar, con el fin de adaptarse al funcionamiento del dispositivo de almacenamiento del calor que puede no tener la misma presión sobre el conjunto de su altura.

De acuerdo con un modo de realización, un nivel intermedio puede crearse con el fin de poner en una diferencia de presión interesante el volumen central, sin crear un depósito adicional utilizado como volumen de almacenamiento del calor. Esto podría tener un pequeño espacio anular justo suficiente para aplicar la presión. Por ejemplo, para este modo de realización, se puede prever un volumen concéntrico sin material de almacenamiento del calor.

Preferentemente, el dispositivo de almacenamiento del calor está construido de tal modo que el gradiente de temperatura en los diferentes volúmenes sea sustancialmente idéntico.

Las figuras 1a y 1b ilustran, de manera esquemática y no limitativa, un dispositivo de almacenamiento del calor según un modo de realización de la invención. La figura 1a es una media vista en sección vertical de un dispositivo de almacenamiento del calor. La figura 1b es una vista en sección horizontal del mismo dispositivo de almacenamiento del calor. El dispositivo de almacenamiento del calor 1 incluye tres volúmenes de almacenamiento del calor TES1, TES2, TES3. Estos volúmenes de almacenamiento del calor TES1, TES2, TES3 están delimitados por unas paredes cilíndricas verticales 2. En esta figura, los espesores de las paredes 2 se representan de manera idéntica, no obstante, el espesor de la pared central, es superior al espesor de la pared intermedia, que en sí es superior al espesor de la pared periférica. Los volúmenes de almacenamiento del calor TES1, TES2, TES3 incluyen un material de almacenamiento del calor 3, por ejemplo, bolas de hormigón. El dispositivo de almacenamiento del calor incluye, además, una capa de aislante 4 que recubre la superficie exterior de la pared periférica 2. Por lo demás, el dispositivo de almacenamiento del calor incluye unas barras de refuerzo 5 destinadas a mantener las paredes 2. Estas barras de refuerzo 5 están habilitadas entre las diferentes paredes 2.

El dispositivo de almacenamiento de calor de las figuras 1a y 1b puede modificarse cambiando el número de volúmenes de almacenamiento del calor (por lo tanto, el número de paredes) que puede ser, por ejemplo, de cuatro, agregando o quitando barras de refuerzo 5, desplazando la capa de aislante 4 en el interior de la pared periférica 2, etc.

La figura 2 representa, de manera esquemática y no limitativa, una pared según un modo de realización de la invención. La pared 2 tiene una forma cilíndrica. Puede estar realizada de metal, concretamente de acero. La pared 2 incluye una pluralidad, doce, según el ejemplo de la figura 2, de anillos circunferenciales 6 de refuerzo. Los anillos circunferenciales 6 pueden estar realizados de metal, en particular de acero.

Por lo demás, la presente invención se refiere a un procedimiento de almacenamiento y de restitución del calor por medio del dispositivo de almacenamiento del calor. Para este procedimiento, se hace circular un fluido en cada volumen de almacenamiento del calor, haciendo circular el fluido que tiene la presión más elevada en el volumen central de almacenamiento del calor y el fluido que tiene la presión más baja en el volumen periférico de almacenamiento del calor. Siendo la presión del fluido decreciente del centro del dispositivo de almacenamiento del calor hacia la periferia del dispositivo de almacenamiento del calor. En otras palabras, para este procedimiento, se pueden implementar las siguientes etapas:

- a) se hace circular un fluido a una primera presión P1 en un primer volumen de almacenamiento de calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor;
- b) se hace circular el fluido a una segunda presión P2 en un segundo volumen de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, siendo la segunda presión P2 superior a la primera presión P1 y estando el segundo volumen de almacenamiento del calor situado en el interior del primer volumen de almacenamiento del calor; y
- c) eventualmente, la etapa b) se repite para cada volumen de almacenamiento del calor, haciendo circular un fluido en el volumen de almacenamiento del calor situado en el interior del anterior, teniendo el fluido una presión superior a la presión anterior.

Estas etapas a), b) y c) pueden realizarse sucesiva o simultáneamente.

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

- al menos dos medios de compresión de gas (o compresor) en estadios. Cada medio de compresión de gas puede ser accionado por un motor, concretamente un motor eléctrico;
- al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido (igualmente, denominado 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 superficie o en subsuelo. Por lo demás, puede estar formado por un único volumen o por una pluralidad de volúmenes conectados o no entre sí;
- al menos dos medios de expansión del gas en estadios (igualmente, denominado expansor o turbina), que permiten expandir el gas comprimido y almacenado. Cada medio de expansión del gas permite generar una energía, concretamente una energía eléctrica por medio de un generador;
- al menos un dispositivo de almacenamiento y de restitución del 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, el sistema de almacenamiento y de restitución del calor está, preferentemente, colocado en la salida de los medios de compresión y en la entrada de los medios de expansión.

Según la invención, el dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor es de acuerdo con una cualquiera de las combinaciones de los modos de realización descritas anteriormente: incluye al menos dos volúmenes de almacenamiento del calor concéntricos. Siendo un primer volumen de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor adecuado para enfriar el gas comprimido entre los medios de compresión del gas y/o adecuado para calentar el gas entre los medios de expansión del gas y siendo un segundo volumen de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, interior al primer volumen de almacenamiento del calor, y adecuado para enfriar el gas comprimido entre un medio de compresión de gas y el medio de almacenamiento del gas comprimido y/o adecuado para calentar el gas comprimido entre dicho medio de almacenamiento del gas comprimido y un primer medio de expansión del gas.

Esta configuración permite disminuir el espesor de las paredes del dispositivo de almacenamiento del calor con respecto a la técnica anterior, haciendo bajar la diferencia de presión entre el interior y el exterior de las paredes que delimitan los volúmenes de almacenamiento del calor. Por lo demás, esta configuración permite un ahorro de espacio en el suelo concentrando el dispositivo de almacenamiento del calor. Además, utilizando un dispositivo de almacenamiento del calor que permite diferencias de presión más importantes, es posible realizar diámetros más importantes, lo que hace posible limitar la altura del dispositivo de almacenamiento del calor.

Se utilizan los términos "medios de compresión en estadios" (respectivamente "medios de expansión en estadios"), 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, en un segundo medio de compresión (respectivamente de expansión) y de este modo sucesivamente. Entonces se denomina un estadio de compresión o de expansión, a un medio de compresión o de expansión de la pluralidad de medios de compresión o de expansión en estadios. Ventajosamente, cuando el sistema incluye una pluralidad de estadios de compresión y/o de expansión, un intercambio de calor (permitido gracias al dispositivo de almacenamiento del calor) se implementa entre cada estadio 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 estadios de compresión y el número de estadios de expansión pueden estar comprendidos entre dos y diez, preferentemente entre tres y cinco. Preferentemente, el número de estadios de compresión es idéntico al número de estadios de expansión y al número de volúmenes de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento del calor. Una configuración preferente del sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido incluye tres o cuatro estadios de compresión, tantos estadios de expansión y tantos volúmenes de almacenamiento del calor. Esta configuración permite concretamente un buen compromiso entre la energía recuperada y la masa y el coste del dispositivo de almacenamiento del calor (espesores de las paredes reducidas).

Según una variante de realización de la invención, los medios de compresión pueden ser reversibles, es decir, que pueden funcionar tanto para la compresión como para la expansión. De este modo, es posible limitar el número de dispositivos utilizados en el sistema según la invención, lo que permite un ahorro en peso y en volumen del sistema según la invención.

El sistema según la invención está adaptado para cualquier tipo de gas, concretamente para el 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 en el aire ambiente. En la continuación de la descripción, solo se describirán la variante de realización con aire comprimido y su aplicación AACAES. No obstante, el sistema y el procedimiento de almacenamiento de energía mediante gas comprimido son válidos para cualquier otro gas.

La figura 3 ilustra un ejemplo de realización no limitativo de un sistema AACAES según la invención. 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 dos estadios de compresión 12, dos estadios de expansión 14 y un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor 1 que comprende dos volúmenes de almacenamiento del calor TES1 y TES2. En esta figura (por razones de simplificación), los dos volúmenes de almacenamiento del calor TES1 y TES2 se representan uno al lado del otro, pero el volumen de almacenamiento del calor TES2 está habilitado dentro del volumen de almacenamiento del calor TES1, por lo demás, la ubicación de los diferentes elementos del sistema AACAES es puramente ilustrativa. El sistema incluye un depósito de almacenamiento 13 del gas comprimido. El primer volumen de almacenamiento del calor TES1 se interpone entre los dos estadios de compresión 12 y entre los dos estadios de expansión 14. El segundo volumen de almacenamiento del calor TES2 del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor 1 se interpone entre el estadio de compresión/expansión 12 o 14 y el depósito de almacenamiento 13 del gas comprimido. Convencionalmente, en fase de almacenamiento de energía (compresión), el aire se comprime primero en un primer compresor 12, luego se enfría en el volumen de almacenamiento del calor TES1. El aire enfriado es comprimido a continuación por segunda vez por un segundo estadio de compresión 12. El gas comprimido se enfría por segunda vez en el segundo volumen de almacenamiento del calor TES2. El gas comprimido y enfriado se almacena en el depósito 13. El material de almacenamiento del calor del sistema de almacenamiento del calor 1 está caliente como continuación al enfriamiento del gas comprimido en la fase de compresión. Durante la recuperación de la energía (expansión), el gas comprimido almacenado se calienta primero en el segundo volumen de almacenamiento del calor TES2. A continuación, de manera convencional, el gas pasa a través de un estadio de expansión 14. El gas expandido se calienta por segunda vez en el primer volumen de almacenamiento del calor TES1. En la salida de este primer volumen de almacenamiento del calor TES1, el gas pasa a través de un segundo estadio de expansión 14.

La figura 4 ilustra un segundo ejemplo de realización no limitativo de un sistema AACAES según la invención. 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 tres estadios de compresión 12, tres estadios de expansión 14 y un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor 1 que comprende tres volúmenes de almacenamiento del calor TES1, TES2 y TES3. En esta figura (por razones de simplificación), los tres volúmenes de almacenamiento del calor TES1, TES2 y TES3 se representan uno al lado del otro, pero el volumen de almacenamiento del calor TES3 está habilitado dentro del volumen de almacenamiento del calor TES2, habilitado en sí dentro del volumen de almacenamiento del calor TES1, por lo demás, la ubicación de los diferentes elementos del sistema AACAES es puramente ilustrativa. El sistema incluye un depósito de almacenamiento 13 del gas comprimido. El primer y el segundo volúmenes de almacenamiento del calor TES1 y TES2 están interpuestos entre dos estadios de compresión 12 y entre dos estadios de expansión 14. El tercer volumen de almacenamiento del calor TES3 del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor 1 está interpuesto entre el estadio de compresión/expansión 12 o 14 y el depósito de almacenamiento 13 del gas comprimido. Convencionalmente, en fase de almacenamiento de energía (compresión), el aire se comprime primero en un primer estadio de compresión 12, luego se enfría en el volumen de almacenamiento del calor TES1. El aire enfriado es comprimido a continuación por segunda vez por un segundo estadio de compresión 12. El gas comprimido se enfría por segunda vez en el segundo volumen de almacenamiento del calor TES2. El aire enfriado es comprimido a continuación por tercera vez por un tercer estadio de compresión 12. El gas comprimido se enfría por tercera vez en el tercer volumen de almacenamiento del calor TES3. El gas comprimido y enfriado se almacena en el depósito 13. El material de almacenamiento del calor del sistema de almacenamiento del calor 1 está caliente como continuación al enfriamiento del gas comprimido en la fase de compresión. Durante la recuperación de la energía (expansión), el gas comprimido almacenado se calienta primero en el tercer volumen de almacenamiento del calor TES3. A continuación, el gas pasa a través de un estadio de expansión 14. El gas expandido se calienta por segunda vez en el segundo volumen de almacenamiento del calor TES2. A continuación, de manera convencional, el gas pasa a través de un estadio de expansión 14. El gas expandido se calienta por tercera vez en el primer volumen de almacenamiento del calor TES1. En la salida de este primer volumen de almacenamiento de calor TES1, el gas pasa a través de un tercer estadio de expansión 14.

El sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido según la invención no se limita a los ejemplos de las figuras 3 o 4. Se pueden considerar otras configuraciones: un número diferente de estadios de compresión y/o de expansión, la utilización de medios reversibles que garanticen la compresión y la expansión, etc.

Como alternativa, el sistema de almacenamiento y de recuperación del calor según la invención puede utilizarse para cualquier tipo de utilización que necesita el almacenamiento del calor, concretamente para el almacenamiento de energía solar, eólica o para cualquier tipo de industria, por ejemplo, la metalurgia, etc.

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

- a) se comprime un gas, concretamente por medio de un compresor;
- b) el gas comprimido se enfría por intercambio de calor, en un primer volumen de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor según la invención;
- c) el gas enfriado se comprime, concretamente por medio de un segundo compresor;
- d) el gas comprimido se enfría por intercambio de calor en un segundo volumen de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, estando el segundo volumen situado en el interior del

primer volumen de almacenamiento del calor;

e) se almacena el gas comprimido enfriado, concretamente mediante un medio de almacenamiento de gas comprimido;

f) el gas comprimido almacenado se calienta, por intercambio de calor, en el segundo volumen de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor según la invención;

g) el gas comprimido calentado se expande para generar una energía, por ejemplo, por medio de una turbina para generar una energía eléctrica;

h) el gas comprimido expandido se calienta, por intercambio de calor, en el primer volumen de almacenamiento del calor del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor; y

i) el gas comprimido calentado se expande para generar una energía, por ejemplo, por medio de una turbina para generar una energía eléctrica.

De acuerdo con una implementación de la invención, las etapas c) y d) y/o h) e i) se repiten para cada estadio de compresión y/o de expansión.

El procedimiento de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido puede realizarse con una de las variantes de realización del dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor descrita anteriormente o una cualquiera de las combinaciones de las variantes descritas anteriormente.

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

Las etapas b) y d) permiten 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. El dispositivo de almacenamiento del calor permite, 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, aproximadamente 190 °C a una temperatura inferior a 80 °C, por ejemplo, aproximadamente 50 °C.

La etapa e) puede realizarse dentro 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 superficie o en subsuelo. Por lo demás, 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.

El gas comprimido está almacenado hasta el momento en el que se desee recuperar la energía almacenada. La etapa f) y las siguientes se realizan en el momento en el que se desee recuperar la energía almacenada.

Las etapas f) y h) permiten calentar el aire comprimido antes de cada expansión, lo que permite optimizar el rendimiento de la expansión siguiente. El dispositivo de almacenamiento del calor permite, 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.

Durante las etapas g) e i), 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 en el medio ambiente.

El procedimiento y el sistema de almacenamiento y recuperación de energía mediante gas comprimido 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.

Ejemplo ilustrativo

Se describe un ejemplo de realización (no limitativo) de un dispositivo de almacenamiento del calor constituido por cuatro volúmenes de almacenamiento del calor utilizando dimensionamientos procedentes de la industria petrolera menos conservadores que el Codap (Código de construcción de los aparatos a presión no sometidos a la acción de la llama):

- Una pared de acero de diámetro interno de 3,5 m y de un espesor del orden de 100 mm constituye el volumen central (anotado TES4) de almacenamiento del calor que está a la presión más elevada de 125,6 bar.
- Una segunda pared de acero de diámetro interno 5,8 m y de espesor del orden de 70 mm, corresponde a un primer volumen anular de almacenamiento del calor de presión interna 62,5 bar (anotado TES3).
- Una tercera pared de acero de diámetro interno de 6,28 m y de un espesor del orden de 60 mm corresponde a un segundo volumen anular de almacenamiento del calor de presión interna 30,8 bar (anotado TES2).
- La última pared de acero de diámetro interno 7,29 m y de un espesor del orden de 14 mm corresponde al volumen

- periférico de almacenamiento del calor (anotado TES1).
- Una capa de aislante se utiliza para recubrir la última pared de acero.

5 Cada volumen de almacenamiento del calor contiene un material de almacenamiento con un volumen interno de 478,5 m³ en forma de un cilindro para el volumen central de almacenamiento del calor y de anular para los siguientes volúmenes de almacenamiento del calor. Este conjunto permite contener 574 toneladas de material de almacenamiento. Para tener el volumen necesario, se requiere una altura de casi 50 m. Esto se puede realizar con tres módulos de aproximadamente 17 m de alto instalados en serie.

10 Para la realización de cada volumen de almacenamiento del calor imbricado, se requiere una cantidad diferente de acero. Los valores para cada TES se dan en la tabla 1:

Tabla 1 - masas de acero para el ejemplo de diseño del dispositivo de almacenamiento del calor

	TES 1	TES 2	TES 3	TES 4
masa de acero (toneladas)	125	474	404	405

15 Para la instalación en el sitio, los diferentes cilindros de acero pueden dividirse en diferentes elementos transportables por camión, luego encaminados en el sitio para ser ensamblados y soldados. Para el TES 4 sometido a la presión más fuerte y de espesor consecuente, se deberá prestar una particular atención a las soldaduras. A medida de su ensamblaje, se podrá agregar el material de almacenamiento y se pueden instalar barras de mantenimiento.

20 Según un segundo ejemplo, con el fin de mostrar el interés del sistema según la invención, concretamente en términos de espesor de acero utilizado, se compara un dispositivo de almacenamiento del calor según la invención INV con cuatro volúmenes de almacenamiento del calor concéntricos, con un dispositivo de almacenamiento del calor según la técnica anterior TA formado por cuatro columnas de almacenamiento de calor distintas. Estos dos dispositivos están sometidos a las mismas solicitaciones (temperaturas, presiones de fluido). La tabla 2 y la figura 5 ilustran las diferencias entre el dispositivo según la invención INV y según la técnica anterior TA. La figura 5 ilustra el espesor e (en mm) de la pared de acero para cada volumen de almacenamiento del calor TES1, TES2, TES3, TES4 (siendo TES1 el volumen periférico y siendo TES4 el volumen central).

Tabla 2 - ejemplo comparativo

		TES 1	TES 2	TES 3	TES 4
Diferencia de presión vista por la pared de acero (bar)	TA	5	30	61,5	124,6
	INV	5	25	31,5	63,1
Espesor de acero con el CODAP (mm)	TA	18	94	158	240
	INV	18	78	80	111

30 Se señala que el dispositivo según la invención permite reducir en gran medida la diferencia de presión vista por las paredes de acero. Por lo demás, se señala que la invención permite limitar los espesores de las paredes de acero, lo que permite limitar la masa y el coste del dispositivo de almacenamiento del calor.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor que comprende al menos dos volúmenes de almacenamiento del calor (TES1, TES2, TES3) delimitados por unas paredes (2) concéntricas, comprendiendo dichos volúmenes de almacenamiento del calor (TES1, TES2, TES3) un material de almacenamiento del calor (3), caracterizado por que los espesores de dichas paredes (2) consecutivas que delimitan dichos volúmenes de almacenamiento del calor (TES1, TES2, TES3) son decrecientes de dicha pared (2) que delimita dicho volumen central de almacenamiento del calor (TES3) hacia dicha pared (2) que delimita dicho volumen periférico de almacenamiento del calor (TES1).
2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1) incluye al menos tres volúmenes concéntricos de almacenamiento del calor (TES1, TES2, TES3).
3. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas paredes están realizadas de metal, concretamente de acero.
4. Dispositivo según la reivindicación 3, en el que dichas paredes están formadas por ensamblaje de al menos una chapa enrollada monocapa o multicapas, concretamente por ensamblaje por soldeo.
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 3 o 4, en el que dichas paredes están reforzadas por al menos un anillo circunferencial (6).
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha pared (2) que delimita el volumen de almacenamiento del calor situado en la periferia (TES1) de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1) está recubierta con un material aislante (4).
7. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material de almacenamiento del calor (3) está formado por bolas de hormigón.
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1) incluye al menos una barra y/o una placa de refuerzo (5) dispuesta entre dichas paredes (2).
9. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada volumen de almacenamiento del calor (TES1, TES2, TES3) está formado por una pluralidad de módulos asociados en serie y/o en paralelo.
10. Procedimiento de almacenamiento y de restitución del calor por medio de un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se realizan las siguientes etapas:
 - a) se hace circular un fluido a una primera presión P1 en un primer volumen de almacenamiento de calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor; y
 - b) se hace circular dicho fluido a una segunda presión P2 en un segundo volumen de almacenamiento del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor, siendo dicha segunda presión P2 superior a dicha primera presión P1 y estando dicho segundo volumen de almacenamiento del calor situado en el interior de dicho primer volumen de almacenamiento del calor.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que se repite la etapa b) para hacer circular dicho fluido consecutivamente en cada volumen de almacenamiento del calor (TES1, TES2, TES3) de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor.
12. Sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido que comprende al menos dos medios de compresión de dicho gas (12), al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido (13), al menos dos medios de expansión (14) de dicho gas comprimido para generar una energía, caracterizado por que dicho sistema de almacenamiento y de recuperación de energía incluye un dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1) según una de las reivindicaciones 1 a 9, siendo un primer volumen de almacenamiento del calor (TES1) de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor adecuado para enfriar el gas comprimido entre dichos medios de compresión del gas (12) y/o adecuado para calentar el gas entre dichos medios de expansión del gas (14) y siendo un segundo volumen de almacenamiento del calor (TES2) de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1), interior a dicho primer volumen de almacenamiento del calor (TES1), adecuado para enfriar el gas comprimido entre un medio de compresión del gas (12) y dicho medio de almacenamiento de gas comprimido (13) y/o adecuado para calentar el gas comprimido entre dicho medio de almacenamiento del gas comprimido (13) y un primer medio de expansión del gas (14).
13. Sistema según la reivindicación 12, en el que dicho sistema de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido incluye al menos tres medios de compresión de gas (12) y al menos tres medios de expansión del gas (14) y dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1) incluye al menos tres volúmenes de almacenamiento del calor (TES1, TES2, TES3).

14. Procedimiento de almacenamiento y de recuperación de energía mediante gas comprimido, caracterizado por que comprende las siguientes etapas por medio de un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía según una de las reivindicaciones 12 o 13:

- 5
- a) se comprime un gas;
 - b) dicho gas comprimido se enfría en un primer volumen de almacenamiento (TES1) del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1);
 - c) se comprime dicho gas enfriado;
 - 10 d) dicho gas comprimido se enfría en un segundo volumen de almacenamiento (TES2) del calor de dicho dispositivo de almacenamiento y de restitución del calor (1), estando dicho segundo volumen de almacenamiento (TES2) del calor situado en el interior de dicho primer volumen de almacenamiento del calor (TES1);
 - e) se almacena dicho gas enfriado;
 - f) se calienta dicho gas almacenado en dicho segundo volumen de almacenamiento del calor (TES2);
 - 15 g) dicho gas calentado se expande para generar una energía;
 - h) dicho gas expandido se calienta en dicho primer volumen de almacenamiento del calor (TES1); y
 - i) se expande dicho gas calentado.

20 15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que las etapas c) y d) y/o h) e i) se repiten para cada medio de compresión del gas (12) y/o para cada medio de expansión del gas (14).

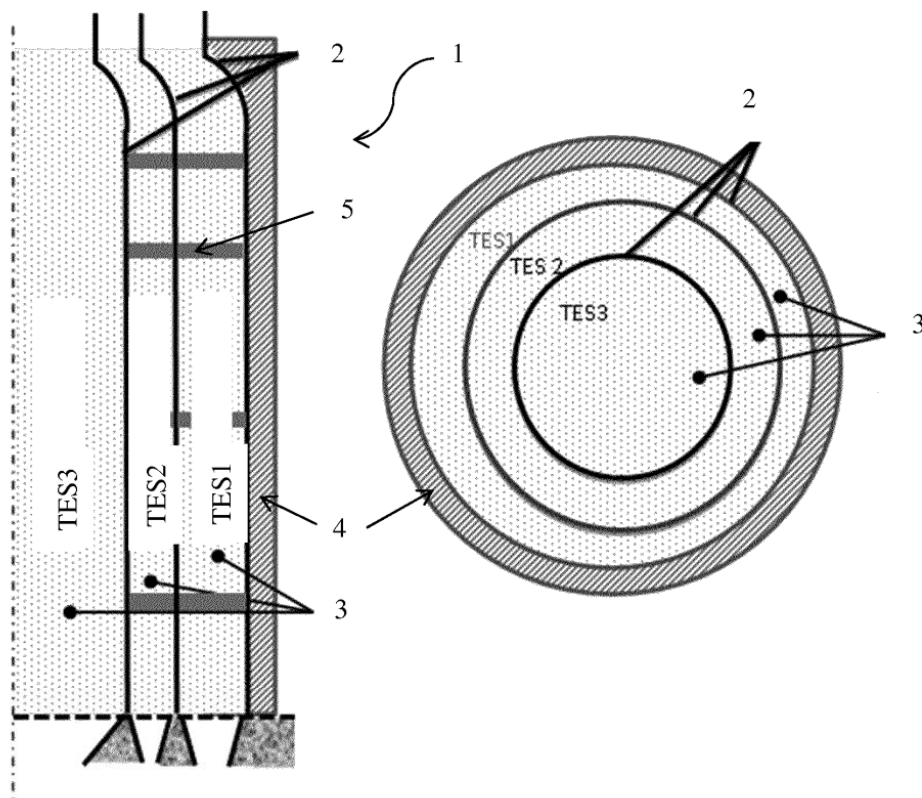


Figura 1a

Figura 1b

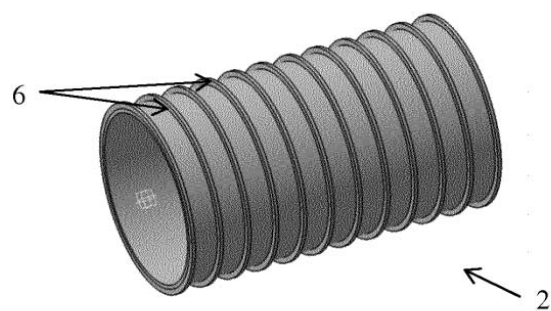


Figura 2

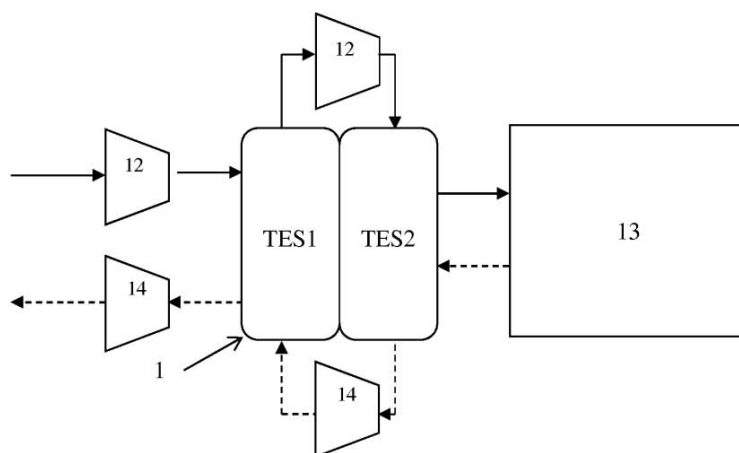


Figura 3

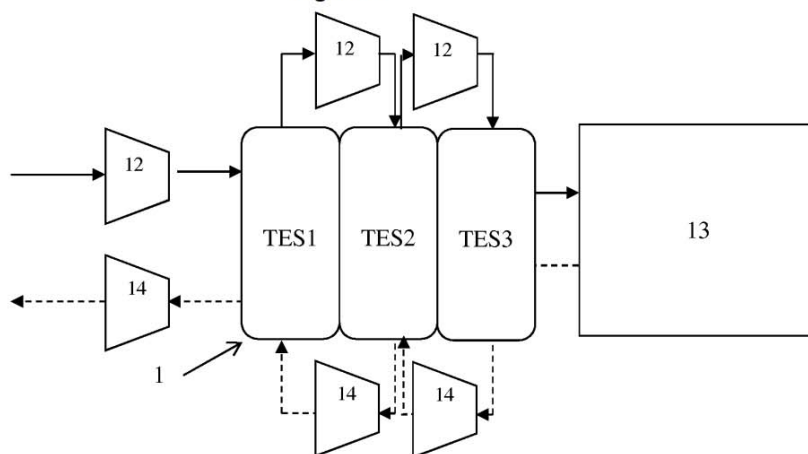


Figura 4

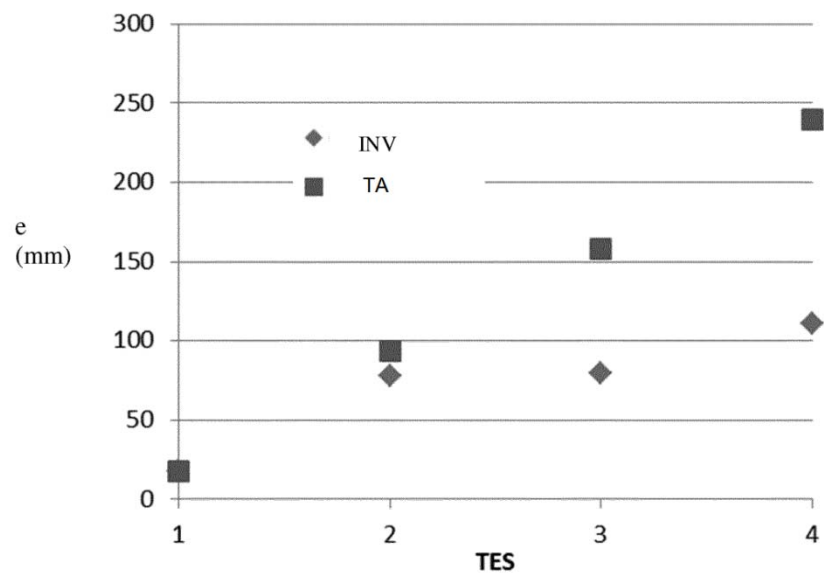


Figura 5