

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 063**

51 Int. Cl.:

F01D 25/10 (2006.01)

F02C 1/04 (2006.01)

F02C 6/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.04.2016 PCT/EP2016/058001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.10.2016 WO16166095**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2016 E 16717316 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2019 EP 3283734**

54 Título: **Sistema y procedimiento de almacenamiento y de recuperación de energía por aire comprimido con calentamiento a volumen constante**

30 Prioridad:

13.04.2015 FR 1553200

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

30.10.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

TEIXEIRA, DAVID

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 729 063 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 recuperación de energía por aire comprimido con calentamiento a volumen constante

El campo de la presente invención se refiere al almacenamiento de energía por aire comprimido (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", "Almacenamiento de energía por aire comprimido adiabático avanzado", en español) en el que está previsto el almacenamiento del aire y el almacenamiento del calor generado.

La voluntad política de disminuir los gases de efecto invernadero o también el deseo de disminuir la dependencia de energía de las energías fósiles arrastra un aumento de la parte de las energías renovables en las mezclas de energía. Estas energías renovables pueden ser unos sistemas eólicos y/o solares (fotovoltaico o termodinámico). Los principales defectos de estos sistemas son sus fluctuaciones en el transcurso del tiempo, así como la independencia entre la producción y necesidad.

Para el eólico, por ejemplo, el viento puede estar presente cuando no hay necesidad de consumo y ausente durante las necesidades. Igualmente, es posible que el viento varíe alrededor de un valor y conduzca a una producción eléctrica fluctuante problemática para la red eléctrica.

La introducción de energías renovables intermitentes en la mezcla de energía no plantea un problema si la red es robusta y si la energía intermitente no controlable no representa más que una pequeña parte de la energía. En el caso de una fuerte tasa de energías intermitentes, deben estar presentes sobre la red unos medios de producción de energía de emergencia. Ahora bien, estos medios de emergencia son, por unas razones económicas, a menudo unos sistemas productores de gases de efecto invernadero. Si la parte de las energías intermitentes se vuelve importante, pueden aparecer unas fluctuaciones en la red y puede producirse un desequilibrio temporal entre la oferta y la demanda. Este desequilibrio se debe al hecho de que, incluso si la producción satisface el consumo anual, puede existir un desfase entre el momento de producción de la energía y la necesidad de consumo.

Con el fin de superar esta dificultad, se han propuesto diferentes soluciones, de entre las que se encuentra el almacenamiento de energía. La finalidad es almacenar la electricidad cuando se produce, luego, restituirla durante las necesidades. No pudiéndose almacenar la electricidad directamente, primeramente, hay que transformarla. Esta transformación puede ser química, electroquímica o mecánica. Por ejemplo, esta transformación puede ser una transformación en energía mecánica en forma de aire comprimido y/o de calor.

En un sistema de almacenamiento de energía por aire comprimido (CAES), la energía, que se desea utilizar en otro momento, se almacena en forma de aire comprimido. Para el almacenamiento, una energía, en concreto, eléctrica, arrastra unos compresores de aire y para el desalmacenamiento, el aire comprimido arrastra unas turbinas, que se pueden unir a una fuente de generación eléctrica. El rendimiento de esta solución no es óptimo, ya que una parte de la energía del aire comprimido se encuentra en forma de calor que no se utiliza. En efecto, en los procedimientos CAES, no se utiliza más que la energía mecánica del aire, es decir, que se desestima todo el calor producido durante la compresión. Además, el rendimiento de un sistema CAES no es óptimo, ya que el sistema necesita calentar el aire almacenado para realizar la expansión del aire. En efecto, a título de ejemplo, si el aire se almacena a 8 MPa (80 bar) y a temperatura ambiente y si se desea recuperar la energía por una expansión, la descompresión del aire seguirá una curva isentrópica a partir de las condiciones iniciales de almacenamiento (aproximadamente 8 MPa y 300 K). El aire se enfría, por lo tanto, hasta unas temperaturas no realistas (83 K, esto es, -191 °C). Por lo tanto, es necesario recalentarlo, lo que se puede hacer con la ayuda de un quemador de gas u otro combustible.

Actualmente, existen varias variantes de este sistema CAES. Pueden citarse, en concreto, los sistemas y procedimientos:

- ACAES (del inglés "Adiabatic Compressed Air Energy Storage", "Almacenamiento de energía por aire comprimido adiabático", en español) en el que el aire se almacena de manera adiabática a la temperatura debida a la compresión. No obstante, este tipo de sistema necesita un sistema de almacenamiento específico voluminoso y costoso.
- AACAES (del inglés "Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage", "Almacenamiento de energía por aire comprimido adiabático avanzado", en español,) en el que el aire se almacena a temperatura ambiente y el calor debido a la compresión se almacena, igualmente, en un sistema de almacenamiento del calor TES (del inglés "Thermal Energy Storage", "Almacenamiento de energía térmica", en español). El calor almacenado en el TES se utiliza para calentar el aire antes de su expansión.

Cuando la implementación del almacenamiento de energía por aire comprimido cuenta con varios niveles de compresión, se puede considerar almacenar el calor de los niveles intermedios de compresión en un sistema dedicado al calor; y almacenar el aire caliente a la salida del último compresor en un tanque presurizado. De este modo, se obtiene una implementación entre el ACAES y el AACAES.

Unos perfeccionamientos de los sistemas AACAES se han centrado en la realización del sistema de almacenamiento de calor TES por medio de un tanque fijo de material de almacenamiento del calor. Otra solución que se ha considerado para el sistema de almacenamiento de calor TES es la utilización de un fluido caloportador que permite 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 aceite, utilizado en calidad de fluido caloportador, circula 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 por un fluido caloportador que circula en un circuito cerrado, comprendiendo el circuito cerrado un tanque de fluido caloportador.

Otros ejemplos de sistemas de almacenamiento y de recuperación de energía se mencionan, igualmente, en las solicitudes de patentes WO 2005/122 389 y US 2015/000 248.

Los medios de compresión y de expansión no son perfectos. Esto es por lo que, el rendimiento de estos dispositivos de compresión y de expansión implica que no es posible recuperar, en la expansión, la totalidad de la energía introducida en la compresión.

Para aumentar la cantidad de energía recuperada, la invención se refiere a un sistema y a un procedimiento de almacenamiento y de recuperación de energía por gas comprimido, del tipo AACAES. El sistema y el procedimiento según la invención implementan un calentamiento a volumen constante del gas comprimido almacenado, lo que permite aumentar la presión del gas comprimido almacenado, lo que permite una mejor eficacia del sistema y del procedimiento.

El sistema y el procedimiento según la invención

La invención se refiere a un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía por gas, de acuerdo con las características de la reivindicación 1, que comprende al menos un medio de compresión de dicho gas, un medio de almacenamiento de dicho gas comprimido, al menos un medio de expansión de dicho gas comprimido adecuado para generar una energía, unos medios de intercambio de calor entre dicho gas comprimido y un fluido caloportador. El sistema incluye, además, unos medios de calentamiento a volumen constante de dicho gas comprimido almacenado.

Según la invención, dichos medios de calentamiento a volumen constante comprenden unos medios de intercambio de calor entre dicho gas comprimido almacenado y dicho fluido caloportador.

Según una variante de realización de la invención, dicho medio de almacenamiento de dicho gas comprimido comprende al menos un tanque de forma sustancialmente cilíndrico que incluye al menos un cilindro interno y/o externo en el que circula dicho fluido caloportador.

Ventajosamente, dichos medios de intercambio de calor dispuestos entre dicho medio de compresión y dicho medio de almacenamiento de dicho gas comprimido es un intercambiador de calor por niveles adecuado para almacenar al menos dicho fluido caloportador a diferentes temperaturas, siendo dichos medios de calentamiento a volumen constante adecuados para calentar dicho gas comprimido de manera sucesiva por dicho fluido caloportador almacenado a las diferentes temperaturas.

Según un modo de realización de la invención, dichos medios de calentamiento a volumen constante están integrados en dicho medio de almacenamiento del gas comprimido.

Alternativamente, dichos medios de calentamiento a volumen constante comprenden al menos una cámara de calentamiento a volumen constante, siendo dicha cámara de calentamiento externa al medio de almacenamiento del gas comprimido.

Según una característica, dichos medios de calentamiento a volumen constante comprenden unos medios de intercambio de calor con una fuente de calor externa.

Según un aspecto, dicho medio de almacenamiento del gas comprimido está constituido por una pluralidad de volúmenes de almacenamiento conectados entre sí.

Según una característica, dicho medio de compresión es reversible para utilizarse en calidad de medio de expansión.

Preferentemente, el sistema incluye una pluralidad de medios de compresión entre los que se disponen unos medios de intercambio de calor y una pluralidad de medios de expansión entre los que se disponen unos medios de intercambio de calor.

De manera ventajosa, dichos medios de intercambio de calor son unos medios de intercambio de calor a presión constante.

Además, la invención se refiere a un procedimiento de almacenamiento y de recuperación de energía por gas comprimido, de acuerdo con las etapas de la reivindicación 11, en el que se realizan las siguientes etapas:

- 5 a) se comprime un gas;
b) se enfría el gas comprimido por intercambio de calor con un fluido caloportador;
c) se almacena el gas comprimido enfriado;
d) se calienta a volumen constante el gas comprimido almacenado; y
e) se expande el gas comprimido calentado para generar una energía.

10 Según la invención, la etapa de calentamiento a volumen constante del gas se realiza por medio de dicho fluido caloportador.

Ventajosamente, para la etapa de calentamiento a volumen constante del gas, se hace circular dicho fluido caloportador en un tanque de almacenamiento del gas comprimido de forma sustancialmente cilíndrico.

15 Según un modo de realización de la invención, la etapa de calentamiento a volumen constante del gas se realiza dentro de un medio de almacenamiento del gas comprimido.

20 Alternativamente, la etapa de calentamiento a volumen constante del gas se realiza dentro de una cámara de calentamiento a volumen constante externa a un medio de almacenamiento del gas comprimido.

Según una característica, la etapa de calentamiento a volumen constante del gas se realiza al menos parcialmente por medio de una fuente de calor externa.

25 Según un aspecto de la invención, el procedimiento incluye una etapa de calentamiento del gas comprimido por medio de un fluido caloportador antes de la etapa de expansión.

30 Preferentemente, las etapas de compresión y de enfriamiento se repiten por medio de una pluralidad de medios de compresión y de medios de intercambio de calor con dicho fluido caloportador y en el que la etapa de expansión se repite por medio de una pluralidad de medios de expansión y de medios de intercambio de calor con el fluido caloportador.

De manera ventajosa, se almacena dicho fluido caloportador.

35 Según una variante de realización, el gas comprimido se enfría de manera por niveles almacenando el fluido caloportador a diferentes temperaturas y se realiza la etapa de calentamiento a volumen constante por intercambios de calor sucesivos con el fluido caloportador a diferentes temperaturas.

Breve presentación de las figuras

40 Otras características y ventajas del procedimiento según la invención aparecerán a la lectura de la descripción a continuación de ejemplos no limitativos de realizaciones, que hacen referencia a las figuras adjuntas y descritas a continuación.

45 La figura 1 ilustra un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía según un modo de realización de la invención.

La figura 2 ilustra un modo de realización de un medio de almacenamiento de gas comprimido según un modo de realización de la invención.

La figura 3 ilustra una variante de realización del sistema de la figura 1.

50 La figura 4 representa una segunda variante de realización del sistema de la figura 1.

La figura 5 ilustra un segundo modo de realización según la invención del sistema de almacenamiento y de recuperación de energía.

Descripción detallada de la invención

55 La presente invención se refiere a un sistema de almacenamiento y de recuperación de energía por gas comprimido equipado con un medio de almacenamiento del calor (AACAES). En esta implementación, el aire se almacena frío. Este aire puede almacenarse a volumen constante. El sistema según la invención incluye:

- 60 - al menos un medio de compresión de gas (o compresor) y preferentemente varios medios de compresión de gas por niveles. El medio de compresión de gas puede ser arrastrado por un motor, en concreto, un motor eléctrico,
- al menos un medio de almacenamiento del gas comprimido (llamado, igualmente, tanque) por el medio de compresión del gas. El medio de almacenamiento del gas comprimido puede ser un tanque 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
65 entre sí o no,

- al menos un medio de expansión del gas (llamado, igualmente, expansor o turbina) que permite expandir el gas comprimido y almacenado y preferentemente varios medios de expansión de gas por niveles. El medio de expansión del gas permite generar una energía, en concreto, una energía eléctrica por medio de un generador,
- unos medios de intercambio de calor entre el gas comprimido y un fluido caloportador para enfriar el gas comprimido a la salida del medio de compresión de gas y/o para calentar el gas comprimido a la entrada del medio de expansión del gas. Preferentemente, los intercambios de calor se realizan a presión constante. Además, el fluido caloportador puede ser líquido o gaseoso, contener unas partículas o no y/o contener o no unas cápsulas de material de cambio de fase. El fluido caloportador permite el almacenamiento del calor,
- unos medios de calentamiento a volumen constante del gas comprimido almacenado, de manera que se caliente el gas comprimido almacenado antes de su paso por los medios de expansión. La realización del calentamiento a volumen constante permite un aumento de la temperatura y de la presión del gas antes de la expansión (el aumento inducido de la presión puede deducirse, en concreto, de la ley de los gases ideales), lo que permite un aumento de la energía recuperada por el sistema y el procedimiento según la invención. En efecto, cuando se desea obtener energía mecánica a partir de un gas caliente a presión a través de una turbina, se puede considerar que la temperatura caliente corresponde a la energía disponible y que la alta presión corresponde a la posibilidad de recuperar la energía. De este modo, un calentamiento a volumen constante (con aumento de la presión) es más ventajoso que un calentamiento a presión constante, tal como se realiza en un intercambiador de calor. Con el fin de evitar las pérdidas de calor, este calentamiento a volumen constante se implementa justo antes de la recuperación de energía durante la fase de expansión, lo que corresponde al final del almacenamiento del gas comprimido.

Los términos "medios de compresión o de expansión por niveles" se utilizan cuando una pluralidad de medios de compresión o expansión se montan sucesivamente los unos después de los otros en serie: el gas comprimido o expandido a la salida del primer medio de compresión o de expansión pasa, a continuación, por un segundo medio de compresión o de expansión y, de este modo, seguidamente. Se llama, 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 por niveles. Ventajosamente, cuando el sistema incluye una pluralidad de niveles de compresión y/o de expansión, un medio de intercambio de calor está dispuesto entre cada nivel de compresión y/o de expansión. De este modo, el aire comprimido se enfría entre cada compresión, lo que permite optimizar el rendimiento de la siguiente compresión y el aire expandido se calienta entre cada expansión, lo que permite optimizar el rendimiento de la siguiente expansión. El número de niveles de compresión y el número de niveles de expansión pueden estar comprendidos entre 2 y 10, preferentemente entre 3 y 5. Preferentemente, el número de niveles de compresión es idéntico al número de niveles de expansión. Alternativamente, el sistema 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 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 una ganancia en peso y en volumen del sistema según la invención. Para esta 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 cualquier tipo de gas, en concreto, para el aire. En este caso, el aire a la entrada utilizado para la compresión puede tomarse del aire ambiente y el aire a la salida después de la expansión puede ser soltado en el aire ambiente. En la continuación de la descripción, solo se describirá la variante de realización con aire comprimido. No obstante, el sistema y el procedimiento son válidos para cualquier otro gas.

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

Según un primer modo de realización de la invención, los medios de calentamiento a volumen constante del gas comprimido están integrados en los medios de almacenamiento del gas comprimido. De este modo, el calentamiento a volumen constante se realiza directamente en el tanque de almacenamiento del gas comprimido. Se puede considerar calentar una parte (caso en que los medios de almacenamiento están formados por una pluralidad de volúmenes de almacenamiento) o la totalidad del gas comprimido almacenado. El calentamiento a volumen constante puede realizarse total o parcialmente por el fluido caloportador utilizado en los medios de intercambio de calor y preferentemente por el fluido caloportador utilizado en el intercambiador de calor dispuesto entre el último nivel de compresión y el medio de almacenamiento del gas comprimido. Además, el calentamiento a volumen constante puede realizarse parcial o totalmente por una fuente de calor externa, por ejemplo, por medio de un quemador. De este modo, es posible elevar la temperatura a una temperatura superior a la temperatura que puede ser proporcionada por el fluido caloportador solo.

65

La figura 1 ilustra un ejemplo de realización no limitativo de este primer modo de realización según la invención. Esta figura ilustra un sistema AACAES con unos medios de compresión por niveles, que comprenden dos niveles de compresión 11 y 12 y dos intercambiadores de calor 21 y 22. Según el ejemplo ilustrado, los medios de compresión 11 y 12 son reversibles y sirven, igualmente, como medios de expansión. En esta figura, la circulación del aire durante el almacenamiento de la energía (compresión) está representada por una flecha continua y la circulación del aire durante la recuperación de la energía (expansión) está representada por una flecha punteada. El sistema incluye un tanque de almacenamiento 30 del gas comprimido. Un primer intercambiador de calor 21 está intercalado entre los niveles de compresión/expansión 11 y 12. Un segundo intercambiador de calor 22 está intercalado entre el segundo nivel de compresión (primer nivel de expansión) y el tanque 30. Convencionalmente, en fase de almacenamiento de energía (compresión), el aire se comprime, en primer lugar, en el primer compresor 11, luego, se enfría en el primer intercambiador de calor 21, luego, se comprime en el segundo compresor 12 y, a continuación, se enfría en el segundo intercambiador de calor 22. El gas comprimido y enfriado se almacena en el tanque 30. El calentamiento a volumen constante del gas comprimido se realiza dentro del tanque de almacenamiento 30, por medio de un intercambio de calor Q con el fluido caloportador del segundo intercambiador de calor 22. El fluido caloportador del segundo intercambiador de calor 22 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, por lo tanto, en primer lugar, a volumen constante en el tanque 30 por medio de un intercambio de calor Q con el fluido caloportador del segundo intercambiador, luego, se puede calentar en el intercambiador de calor 22 (en concreto, si todo el calor almacenado en el intercambiador de calor 22 no se utiliza para el calentamiento a volumen constante). A continuación, de manera convencional, el gas pasa a través de uno o varios niveles de expansión (dos niveles según el ejemplo ilustrado en la figura 1), con un calentamiento por el primer intercambiador de calor 21 entre los dos niveles de expansión 12 y 11.

El primer modo de realización no se limita al ejemplo de la figura 1. Se pueden considerar otras configuraciones: un número diferente de niveles de compresión y/o de expansión, la utilización de dos "circuitos" distintos para la compresión y la expansión, ...

Según un diseño del tanque para este primer modo de realización de la invención, el tanque de almacenamiento del gas comprimido puede estar formado por al menos una carcasa exterior que permite resistir la presión del gas comprimido después de recalentamiento. Además, el tanque puede disponer de uno o varios sistemas de transferencia de calor situados en la periferia o en el corazón del tanque de aire. La figura 2 ilustra un ejemplo de diseño de este tipo del tanque de almacenamiento del gas comprimido según una sección axial y una sección transversal. En este ejemplo, el aire se almacena en un tanque de forma sustancialmente cilíndrico 302. Este cilindro puede contener un cilindro interno 303 y/o un cilindro externo 301 en los que circula un fluido caloportador (monofásico o polifásico) cuya finalidad es aportar el calor al aire. Las paredes del tanque permiten resistir la presión e idealmente favorecer las transferencias térmicas. Finalmente, se puede añadir un aislamiento térmico 304, con el fin de minimizar las pérdidas térmicas durante la transferencia de calor y después de recalentamiento.

Según una variante de realización de este primer modo de realización de la invención, se puede instalar un enfriador suplementario entre un intercambiador de calor y el tanque de almacenamiento de gas comprimido. Este enfriador permite bajar de manera más importante la temperatura de almacenamiento del gas comprimido; de este modo, la variación de presión obtenida durante el calentamiento a volumen constante es más importante. La figura 3 ilustra un ejemplo de realización no limitativo de esta variante de realización del primer modo de realización. Los elementos en común con el ejemplo de la figura 1 no se describen en detalle. El ejemplo de la figura 3 comprende un enfriador 40 dispuesto entre el segundo intercambiador de calor 22 y el tanque de almacenamiento 30 del gas comprimido. De este modo, el gas comprimido a la salida del segundo compresor se enfría una primera vez en el intercambiador de calor 22 por el fluido caloportador, luego, se enfría una segunda vez por el enfriador 40. A la salida del enfriador 40, el gas comprimido y enfriado se almacena en el tanque 30. Durante la recuperación de la energía (expansión), el gas comprimido almacenado se calienta, en primer lugar, a volumen constante en el tanque 30 por medio de un intercambio de calor Q con el fluido caloportador del segundo intercambiador, luego, se puede calentar en el intercambiador de calor 22. A continuación, de manera convencional, el gas pasa a través de uno o varios niveles de expansión (dos niveles según el ejemplo ilustrado en la figura 3).

Esta variante del primer modo de realización no se limita al ejemplo de la figura 3, se pueden considerar otras configuraciones: un número diferente de niveles de compresión y/o expansión, la utilización de dos "circuitos" distintos para la compresión y la expansión, ... Esta variante de realización puede combinarse ventajosamente con el diseño del tanque tal como se ilustra en la figura 2.

Según otra variante de realización de este primer modo de realización, el intercambiador de calor dispuesto entre el último nivel de compresión y el tanque de almacenamiento de gas comprimido es un intercambiador de calor por niveles. Un intercambiador por niveles permite almacenar el calor en varios niveles de temperaturas. Durante la fase de recuperación de energía (expansión), el calor almacenado en cada uno de estos niveles, del más frío al más caliente, se utiliza para calentar el aire en el tanque (a volumen constante). Esta realización permite una elevación de la temperatura más importante del gas almacenado en el tanque. Con el fin de obtener unos niveles de temperatura casi fija o fija, es ventajoso utilizar un fluido caloportador con cápsulas de materiales de cambio de fase (MCF). Igualmente, puede ser ventajoso que el fluido utilizado cambie de fase (líquido/gas) durante el almacenamiento y el

desalmacenamiento del calor. La figura 4 ilustra un ejemplo de realización no limitativo de esta variante de realización del primer modo de realización. Los elementos en común con el ejemplo de la figura 1, así como el funcionamiento de los elementos comunes del sistema, no se describen en detalle. El ejemplo de la figura 4 comprende un segundo intercambiador de calor por niveles, que comprende los niveles sucesivos 22, 22' y 22" (el número de niveles es no limitativo). Durante la fase de almacenamiento de energía (compresión), el gas a la salida del segundo compresor 12 se enfría a una primera temperatura T22 por el primer nivel del intercambiador de calor, luego, se enfría a una segunda temperatura T22' por el segundo nivel del intercambiador de calor 22', siendo la temperatura T22' inferior a la temperatura T22. A continuación, el gas se enfría a una temperatura T22" por el tercer nivel del intercambiador de calor 22", siendo la temperatura T22" inferior a la temperatura T22'. A la salida del tercer nivel 22" del intercambiador de calor, el gas comprimido y enfriado se almacena en el tanque 30. Durante la recuperación de la energía (expansión), el gas comprimido almacenado se calienta, en primer lugar, a volumen constante en el tanque 30 por medio de un intercambio de calor Q" con el fluido caloportador del tercer nivel 22" del intercambiador de calor, luego, por medio de un intercambio de calor Q' con el fluido caloportador del segundo nivel 22' del intercambiador de calor, luego, por medio de un intercambio de calor Q con el fluido caloportador del primer nivel 22 del intercambiador de calor. A continuación, el gas comprimido se puede calentar en el intercambiador de calor 22, 22', 22". A continuación, de manera convencional, el gas pasa a través de uno o varios niveles de expansión.

Esta variante del primer modo de realización no se limita al ejemplo de la figura 4, se pueden considerar otras configuraciones: un número diferente de niveles de compresión y/o expansión, la utilización de dos "circuitos" distintos para la compresión y la expansión, ... Esta variante de realización puede combinarse ventajosamente con la variante de realización de la figura 3 y/o el diseño del tanque tal como se ilustra en la figura 2.

Según un segundo modo de realización de la invención, el calentamiento a volumen constante del gas se implementa en el exterior del tanque de almacenamiento del gas comprimido, en concreto, en al menos una cámara de calentamiento a volumen constante. La cámara de calentamiento a volumen constante es externa al tanque de almacenamiento del gas comprimido. Este modo de realización permite limitar el volumen de gas que hay que calentar y simplificar el diseño del tanque de almacenamiento del gas comprimido, ya que no necesita resistir un aumento de la presión relacionado con este calentamiento, solo la cámara de calentamiento, de volumen limitado, debe resistir esta presión. Con el fin de realizar una recuperación de energía continua, el sistema puede comprender una pluralidad de cámaras de calentamiento en paralelo. De este modo, mientras que una porción del gas se calienta en una cámara de calentamiento, otra porción de gas puede introducirse en otra cámara de calentamiento.

El calentamiento de la cámara de calentamiento a volumen constante puede realizarse total o parcialmente por el fluido caloportador utilizado en los medios de intercambio de calor, preferentemente por el fluido caloportador utilizado en el intercambiador de calor dispuesto entre el último nivel de compresión y el medio de almacenamiento del gas comprimido. Además, el calentamiento a volumen constante puede realizarse parcial o totalmente por una fuente de calor externa, por ejemplo, por medio de un quemador. De este modo, es posible elevar la temperatura a una temperatura superior a la temperatura que puede ser proporcionada por el fluido caloportador solo.

La figura 5 ilustra un ejemplo de realización no limitativo de este segundo modo de realización según la invención. Esta figura ilustra un sistema AACAES con unos medios de compresión por niveles, que comprenden dos niveles de compresión 11 y 12 y dos intercambiadores de calor 21 y 22. Tales como se ilustran, los medios de compresión 11 y 12 son reversibles y sirven, igualmente, como medios de expansión. Para el ejemplo ilustrado, la circulación del aire durante el almacenamiento de la energía (compresión) está representada por una flecha continua y la circulación del aire durante la recuperación de la energía (expansión) está representada por una flecha punteada. El sistema incluye un tanque de almacenamiento 30 del gas comprimido. Las etapas de compresión y de expansión son idénticas a las etapas convencionales de compresión y de expansión descritas en relación con la figura 1. El calentamiento a volumen constante del gas comprimido se realiza dentro de una cámara de calentamiento 50, por medio de un intercambio de calor Q con el fluido caloportador del segundo intercambiador de calor 22. La cámara de calentamiento 50 está dispuesta entre el tanque 30 y el segundo intercambiador de calor 22. El fluido caloportador del segundo intercambiador de calor 22 está caliente como continuación al enfriamiento del gas comprimido en la fase de compresión. Durante la recuperación de la energía (expansión), una parte o la totalidad del gas comprimido almacenado se transfiere, por lo tanto, en primer lugar, a la cámara de calentamiento 50. Luego, el gas se calienta a volumen constante en la cámara de calentamiento 50 por medio de un intercambio de calor Q con el fluido caloportador del segundo intercambiador y puede, a continuación, calentarse en el intercambiador de calor 22. Luego, de manera convencional, el gas pasa a través de uno o varios niveles de expansión.

El segundo modo de realización no se limita al ejemplo de la figura 5 y se pueden considerar otras configuraciones: un número diferente de niveles de compresión y/o expansión, la utilización de dos "circuitos" distintos para la compresión y la expansión, ... Además, la cámara de calentamiento a volumen constante puede ser de diseño semejante a la variante de realización de la figura 2. Además, las variantes de realización del primer modo de realización, en concreto, la utilización de un enfriador y de un intercambiador de calor por niveles, pueden combinarse con el segundo modo de realización según la invención.

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

- a) se comprime un gas, en concreto, por medio de un compresor de aire;
 b) se enfría el gas comprimido por intercambio de calor con un fluido caloportador, en particular, por medio de un intercambiador de calor;
 c) se almacena el gas comprimido enfriado, en concreto, por un medio de almacenamiento de gas comprimido;
 d) se calienta a volumen constante el gas comprimido almacenado;
 e) una etapa facultativa (implementada, en concreto, si, en la etapa d), no se utiliza todo el calor del fluido caloportador): se calienta el gas comprimido almacenado por intercambio de calor con el fluido caloportador; y
 f) se expande el gas comprimido calentado para generar una energía, por ejemplo, por medio de una turbina para generar una energía eléctrica.

Según un aspecto de la invención, el procedimiento incluye varias etapas de compresión sucesivas, por medio de compresores de aire colocados en serie, llamados, igualmente, compresiones por niveles. En este caso, se reiteran las etapas a) y b) para cada nivel de compresión. De este modo, el gas se comprime y enfría varias veces.

Según una característica de la invención, el procedimiento incluye varias etapas de expansión sucesivas, por unos medios de expansión colocados en serie, llamadas, igualmente, expansiones por niveles. En este caso, se reiteran las etapas e) y f) 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. En concreto, puede tratarse de aire tomado en el medio ambiente.

La etapa b) permite enfriar el gas comprimido después de cada etapa de compresión, lo que permite optimizar el rendimiento de la siguiente compresión y/o el almacenamiento de energía. La etapa b) se realiza convencionalmente por medio de un intercambiador térmico. En concreto, puede tratarse de un intercambiador térmico en el que el gas y el fluido caloportador circulan a contracorriente. Los medios de intercambio de calor permiten, durante el almacenamiento del gas comprimido (compresión), recuperar un máximo de calor procedente de la compresión del gas a la salida de los compresores y disminuir la temperatura del gas antes del paso a la siguiente compresión o antes del almacenamiento. Por ejemplo, el gas comprimido puede pasar de una temperatura superior a 150 °C, por ejemplo, aproximadamente 190 °C a una temperatura inferior a 80 °C, por ejemplo, aproximadamente 50 °C.

La etapa c) puede realizarse dentro de un medio de almacenamiento del gas comprimido, que puede ser un tanque 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 entre sí o no. Durante el almacenamiento, se cierra el medio de almacenamiento del gas comprimido.

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

La etapa d) permite calentar el gas comprimido almacenado antes de su paso por los medios de expansión. La realización del calentamiento a volumen constante permite un aumento de la temperatura y de la presión del gas antes de la expansión (el aumento inducido de la presión puede deducirse, en concreto, de la ley de los gases ideales), lo que permite un aumento de la energía recuperada por el sistema y el procedimiento según la invención. En efecto, cuando se desea obtener energía mecánica a partir de un gas caliente a presión a través de una turbina, se puede considerar que la temperatura caliente corresponde a la energía disponible y que la alta presión corresponde a la posibilidad de recuperar la energía. De este modo, un calentamiento a volumen constante (con aumento de la presión) es más ventajoso que un calentamiento a presión constante, tal como se realiza en un intercambiador de calor. Con el fin de evitar las pérdidas de calor, este calentamiento a volumen constante se implementa justo antes de la recuperación de energía durante la fase de expansión, lo que corresponde al final del almacenamiento del gas comprimido.

La etapa facultativa e) permite calentar el aire comprimido antes de cada expansión, lo que permite optimizar el rendimiento de la siguiente expansión. La etapa e) se realiza convencionalmente por medio de un intercambiador térmico que no asegura un volumen constante durante el intercambio de calor. Para la etapa e), se puede utilizar el fluido caloportador que ha servido para enfriar durante la etapa b). Los medios de intercambio 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 siguiente expansión. 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 la etapa f), 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 en el medio ambiente.

El calentamiento a volumen constante puede realizarse parcial o totalmente por el fluido caloportador y/o por una fuente de calor externa, tal como un quemador.

Según un primer modo de realización del procedimiento según la invención, este calentamiento a volumen constante puede realizarse dentro del tanque de almacenamiento del gas comprimido. En este caso, se puede hacer circular el fluido caloportador dentro y/o alrededor del medio de almacenamiento del gas comprimido, de manera que se permita el intercambio de calor. El gas puede estar, entonces, estar inmóvil.

5 Según un segundo modo de realización del procedimiento según la invención, este calentamiento a volumen constante puede realizarse dentro de una cámara de calentamiento a volumen constante, que es externa al tanque de almacenamiento del gas comprimido. En este caso, se puede hacer circular el fluido caloportador dentro y/o alrededor de la cámara de calentamiento a un volumen constante, de manera que se permita el intercambio de calor. El gas puede estar, entonces, estar inmóvil.

10 El procedimiento según la invención puede implementarse por el sistema según una cualquiera de las variantes de la invención descritas anteriormente: con o sin utilización de un enfriador complementario para enfriar de manera más importante el gas comprimido antes de su almacenamiento y/o con o sin utilización de un intercambiador de calor por niveles para un calentamiento por niveles del gas comprimido y/o con o sin utilización de un tanque cilíndrico con cilindro interno y/o externo en el que circula el fluido caloportador, para aumentar los intercambios de calor.

15 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.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de almacenamiento y de recuperación de energía por gas comprimido que comprende al menos un medio de compresión de dicho gas (11, 12), un medio de almacenamiento de dicho gas comprimido (30), al menos un medio de expansión (11, 12) de dicho gas comprimido adecuado para generar una energía, unos medios de intercambio de calor (21, 22) entre dicho gas comprimido y un fluido caloportador y el sistema incluye, además, unos medios de calentamiento a volumen constante de dicho gas comprimido almacenado, caracterizado por que dichos medios de calentamiento a volumen constante que comprenden unos medios de intercambio de calor entre dicho gas comprimido almacenado y dicho fluido caloportador.
- 10 2. Sistema según la reivindicación 1, en el que dicho medio de almacenamiento de dicho gas comprimido comprende al menos un tanque (302) de forma sustancialmente cilíndrico que incluye al menos un cilindro interno (303) y/o externo (301) en el que circula dicho fluido caloportador.
- 15 3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, en el que dichos medios de intercambio de calor dispuestos entre dicho medio de compresión (12) y dicho medio de almacenamiento de dicho gas comprimido (30) es un intercambiador de calor por niveles adecuado para almacenar al menos dicho fluido caloportador a diferentes temperaturas, siendo dichos medios de calentamiento a volumen constante adecuados para calentar dicho gas comprimido de manera sucesiva por dicho fluido caloportador almacenado a las diferentes temperaturas.
- 20 4. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de calentamiento a volumen constante están integrados en dicho medio de almacenamiento del gas comprimido (30).
- 25 5. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de calentamiento a volumen constante comprenden al menos una cámara de calentamiento (50) a volumen constante, siendo dicha cámara de calentamiento (50) externa al medio de almacenamiento del gas comprimido (30).
- 30 6. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de calentamiento a volumen constante comprenden unos medios de intercambio de calor con una fuente de calor externa.
- 35 7. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho medio de almacenamiento del gas comprimido (30) está constituido por una pluralidad de volúmenes de almacenamiento conectados entre sí.
- 40 8. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho medio de compresión (11, 12) es reversible para utilizarse en calidad de medio de expansión (11, 12).
- 45 9. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema incluye una pluralidad de medios de compresión (11, 12) entre los que están dispuestos unos medios de intercambio de calor (21, 22) y una pluralidad de medios de expansión (11, 12) entre los que están dispuestos unos medios de intercambio de calor (21, 22).
- 50 10. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de intercambio de calor (21, 22) son unos medios de intercambio de calor a presión constante.
- 55 11. Procedimiento de almacenamiento y de recuperación de energía por gas comprimido, en el que se realizan las siguientes etapas:
- a) se comprime un gas;
 - b) se enfría el gas comprimido por intercambio de calor con un fluido caloportador;
 - c) se almacena el gas comprimido enfriado y estando el procedimiento caracterizado por las siguientes etapas:
 - d) se calienta a volumen constante el gas comprimido almacenado por medio de dicho fluido caloportador; y
 - e) se expande el gas comprimido calentado para generar una energía.
- 60 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que, para la etapa de calentamiento a volumen constante del gas, se hace circular dicho fluido caloportador en un tanque de almacenamiento (30) del gas comprimido de forma sustancialmente cilíndrico.
- 65 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 12, en el que la etapa de calentamiento a volumen constante del gas se realiza dentro de un medio de almacenamiento del gas comprimido (30).
14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 12, en el que la etapa de calentamiento a volumen constante del gas se realiza dentro de una cámara de calentamiento (50) a volumen constante externa a un medio de almacenamiento del gas comprimido (30).
15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 14, en el que la etapa de calentamiento a volumen constante del gas se realiza al menos parcialmente por medio de una fuente de calor externa.

16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 15, en el que el procedimiento incluye una etapa de calentamiento del gas comprimido por medio de un fluido caloportador antes de la etapa de expansión.

5 17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 16, en el que las etapas de compresión y de enfriamiento se repiten por medio de una pluralidad de medios de compresión (11, 12) y de medios de intercambio de calor con dicho fluido caloportador (21, 22) y en el que la etapa de expansión se repite por medio de una pluralidad de medios de expansión (11, 12) y de medios de intercambio de calor con el fluido caloportador (21, 22).

10 18. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 17, en el que se almacena dicho fluido caloportador.

19. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 a 18, en el que se enfría el gas comprimido de manera por niveles almacenando el fluido caloportador a diferentes temperaturas y se realiza la etapa de calentamiento a volumen constante por intercambios de calor sucesivos con el fluido caloportador a diferentes temperaturas.

15

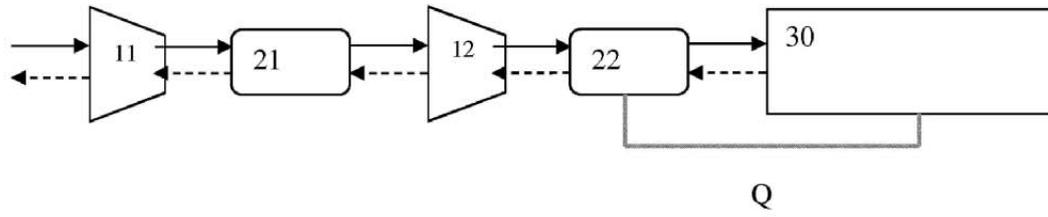


Figura 1

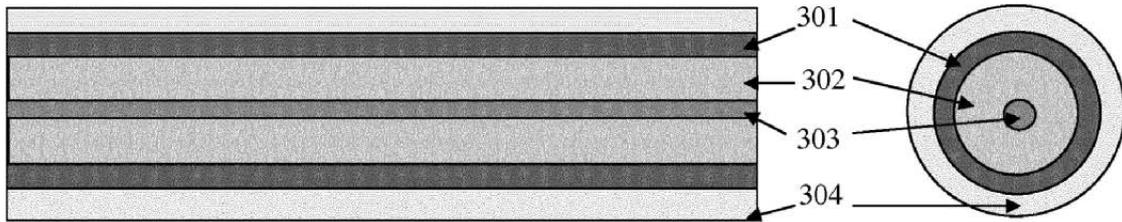


Figura 2

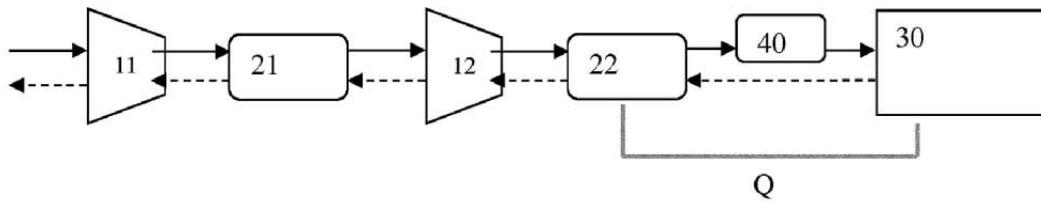


Figura 3

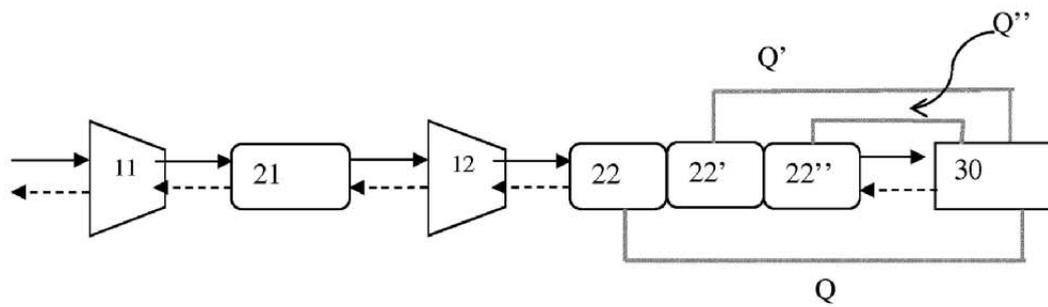


Figura 4

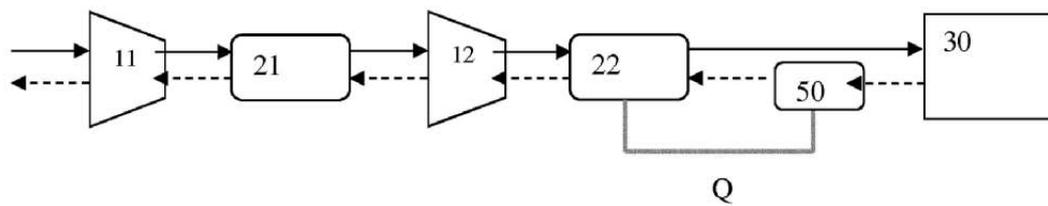


Figura 5