

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 833 370**

51 Int. Cl.:

F01K 3/00 (2006.01)

F01K 3/06 (2006.01)

F01K 25/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.10.2017 PCT/EP2017/077533**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.05.2018 WO18078062**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2017 E 17801354 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2020 EP 3532710**

54 Título: **Dispositivo de almacenamiento de energía, así como procedimiento para almacenar energía**

30 Prioridad:

26.10.2016 EP 16195878

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

15.06.2021

73 Titular/es:

**ORTMANN, PETER (50.0%)
Säntisstrasse 6A
8200 Schaffhausen, CH y
GRAF, WERNER (50.0%)**

72 Inventor/es:

**ORTMANN, PETER y
GRAF, WERNER**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 833 370 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 de almacenamiento de energía, así como procedimiento para almacenar energía

La presente invención se refiere a un dispositivo de almacenamiento de energía para almacenar energía. La invención se refiere además a un procedimiento para almacenar energía.

5 Estado de la técnica

Las fuentes de energía renovables, como la energía eólica o la energía solar, son cada vez más utilizadas para obtener energía. Para garantizar un abastecimiento de energía sostenible y estable basado en fuentes de energía renovables es necesario almacenar la energía obtenida y descargarla nuevamente después de un tiempo. Para ello son necesarios dispositivos de almacenamiento de energía baratos que puedan almacenar temporalmente la energía excedente y descargarla de nuevo en un tiempo posterior.

El documento EP2147193B1 da a conocer por un lado un dispositivo, así como un procedimiento, para el almacenamiento de energía térmica. El documento da a conocer además un dispositivo para el almacenamiento y para la descarga de energía eléctrica en un tiempo posterior. En este caso, para cargar el acumulador de energía, la energía eléctrica es transformada en calor y almacenada como energía térmica. Durante la descarga, la energía térmica es convertida de nuevo en energía eléctrica y después es liberada. Este dispositivo, o este procedimiento, presentan el inconveniente de que para su funcionamiento son necesarios dos acumuladores de energía separados, un acumulador de calor, así como un acumulador de frío, los cuales además deben ser operados con una temperatura muy elevada de hasta 2000 °C, o una temperatura muy baja de hasta - 80 °C, lo cual tiene como consecuencia que la fabricación, el funcionamiento, así como el mantenimiento del dispositivo, que además del acumulador de calor o de frío comprende también compresor, intercambiador de calor, etc., son complicados y caros. Además, los compresores requeridos son relativamente grandes y su densidad de potencia reducida.

El documento DE 10 2011 088380 A1 da a conocer un dispositivo de almacenamiento de energía para almacenar la energía eléctrica excedente que se produce de forma estacional. El almacenamiento de energía tiene lugar a muy largo plazo. La descarga de la energía almacenada se realiza a través de un circuito de vapor. Este dispositivo es desfavorable en cuanto al grado de efectividad y en cuanto a los costes.

Descripción de la invención

El objeto de la presente invención es por tanto crear un dispositivo de almacenamiento de energía más ventajoso en cuanto al aspecto económico, o un procedimiento para almacenar energía más ventajoso en cuanto al aspecto económico.

Además, el objeto de la presente invención es en particular crear un dispositivo o un procedimiento para almacenar y recuperar energía eléctrica que sea ventajoso en cuanto al aspecto económico.

Este objeto se consigue con un dispositivo que presenta las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes 2 a 11 se refieren a otras realizaciones ventajosas. El objeto se consigue además con un procedimiento que presenta las características de la reivindicación 12. Las reivindicaciones dependientes 13 a 14 se refieren a otras etapas de procedimiento ventajosas.

El objeto se lleva a cabo en particular con un dispositivo de almacenamiento de energía para almacenar energía, que comprende:

- un regenerador de alta temperatura que contiene un material de almacenamiento sólido, en particular poroso,

-un gas de trabajo como medio portador de calor para intercambiar calor entre el material de almacenamiento y el gas de trabajo circulante, y

- un circuito de carga y un circuito de descarga para el gas de trabajo, en el que el circuito de carga está realizado de manera que partiendo de un precalentador al menos un primer canal de intercambio de calor de un recuperador, un primer compresor, el regenerador de alta temperatura, un segundo canal de intercambio de calor del recuperador y a continuación un primer expansor están conectados entre sí con conducción de fluido formando un circuito, y en el que el primer compresor está acoplado al primer expansor, y en el que el primer compresor forma parte de una primera máquina de pistón y el primer expansor forma parte de una segunda máquina de pistón, en el que las máquinas de pistón pueden ser controladas de manera que funcionen o bien como compresor o como expansor, que el primer compresor del circuito de carga forma un segundo expansor en el circuito de descarga, y que el primer expansor del circuito de carga forma un segundo compresor en el circuito de descarga, y en el que el regenerador de alta temperatura puede ser controlado para ser conectado al circuito de carga o al circuito de descarga con conducción de fluido, que el regenerador de alta temperatura, el compresor, así como el expansor forman parte del circuito de carga o del circuito de descarga, y en el que el circuito de carga, el circuito de descarga y el regenerador de alta temperatura presentan el mismo gas de trabajo, de manera que el gas de trabajo, tanto en el circuito de carga, como en el circuito de descarga, entra en contacto directo con el material de almacenamiento del regenerador de alta temperatura.

El objeto se consigue además en particular con un procedimiento para almacenar energía en un dispositivo de almacenamiento de energía, en el que el dispositivo de almacenamiento de energía comprende un regenerador de alta temperatura que contiene un material de almacenamiento sólido, en particular poroso, en el que un gas de trabajo es calentado y transportado en un circuito de carga, siendo calentado el gas de trabajo en un precalentador y a continuación en un recuperador, y el gas de trabajo a continuación es comprimido y calentado en un primer compresor, realizado como una primera máquina de pistón, y de modo que el gas de trabajo así calentado es conducido a continuación al regenerador de alta temperatura, de modo que el gas de trabajo suministra calor al material de almacenamiento y a continuación el gas de trabajo es enfriado en el recuperador, y a continuación en un primer expansor, realizado como segunda máquina de pistón, es distendido, en el que el primer compresor es accionado al menos parcialmente por el primer expansor y en el que del regenerador de alta temperatura es extraída energía térmica a través de un circuito de descarga, en el que el regenerador de alta temperatura puede ser conmutado para formar parte del circuito de carga o del circuito de descarga, siendo conectado el regenerador de alta temperatura con conducción de fluido o bien al circuito de carga o bien al circuito de descarga, en el que el circuito de carga, el circuito de descarga, así como el regenerador de alta temperatura son atravesados por el mismo gas de trabajo, de manera que el material de almacenamiento es atravesado directamente por el gas de trabajo tanto en el circuito de carga como en el de descarga.

El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención comprende un regenerador de alta temperatura que contiene un material de almacenamiento sólido, preferentemente un material de almacenamiento poroso, así como un gas de trabajo como medio portador de calor, para mediante el gas de trabajo que circula a lo largo del material de almacenamiento intercambiar calor entre el gas de trabajo y el material de almacenamiento.

En los intercambiadores de calor, entre otras cosas, se distingue entre un recuperador y un regenerador. En un recuperador dos fluidos son dirigidos a espacios separados entre sí, teniendo lugar entre los espacios una transferencia de calor. En un recuperador dos fluidos están completamente separados, por ejemplo mediante una pared separadora, de modo que a través de toda la pared separadora es transferida energía térmica entre los dos fluidos. Un regenerador es un intercambiador de calor en el que el calor es almacenado de forma intermedia en un medio durante el proceso de intercambio. En una realización posible, en un regenerador el gas de trabajo circula directamente a través del material de almacenamiento. Al cargarse el regenerador, la energía térmica suministrada por el gas de trabajo es liberada en el material de almacenamiento y se almacena en el material de almacenamiento. Al descargarse el regenerador es extraída energía térmica del material de almacenamiento a través del gas de trabajo, el material de almacenamiento es enfriado, y la energía térmica extraída del gas de trabajo es conducida hacia un proceso subsiguiente. En el regenerador, el gas de trabajo entra en contacto directo con el material de almacenamiento, tanto durante la carga, como durante la descarga.

El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención ofrece la ventaja de que tan solo se requiere un acumulador de energía, y eventualmente también un acumulador térmico de baja temperatura, preferiblemente un acumulador de agua caliente. Se puede prescindir del acumulador térmico de baja temperatura, por ejemplo obteniendo el calor necesario enfriando un componente del dispositivo de almacenamiento de energía, por ejemplo el compresor. El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención tiene la ventaja de que el compresor y el expansor están realizados como máquinas de pistón. Las máquinas de pistón, es decir el compresor de pistón y el expansor de pistón, son máquinas que trabajan de forma segura y barata, por lo que el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención puede ser operado de forma segura, con poco mantenimiento y poco coste. El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención, junto con el regenerador de alta temperatura, comprende además un circuito de carga, un circuito de descarga, así como medios de conmutación para conectar el circuito de carga al regenerador de alta temperatura para una carga, o el circuito de descarga para una descarga. En una posible forma de realización tanto el circuito de carga como el circuito de descarga pueden estar realizados abiertos. Pero preferiblemente el circuito de carga y el circuito de descarga están realizados como circuitos cerrados. Como material de almacenamiento en el regenerador de alta temperatura se considera adecuado un material sólido, como por ejemplo piedras porosas refractarias, arena, grava, hormigón, grafito o una cerámica, o una combinación de estos materiales. Además en el regenerador de alta temperatura deben estar previstas vías de flujo y/o el material de almacenamiento está realizado poroso para que el gas de trabajo pueda fluir a lo largo o a través del material de almacenamiento. El material de almacenamiento puede calentarse a una temperatura preferentemente en el intervalo entre 600-1000 °C y en caso de ser necesario también de hasta 1500 °C. El circuito de carga, así como el circuito de descarga, están realizados ventajosamente como circuitos cerrados. Esa forma de realización ofrece la ventaja de que el gas de trabajo puede presentar también una sobrepresión, lo cual aumenta la densidad de potencia de las máquinas de pistón en correspondencia a la alta presión. En una forma de realización ventajosa, como gas de trabajo se utiliza un gas inerte como argón o nitrógeno. No obstante, también otros gases son adecuados como gases de trabajo. En un circuito de carga abierto y en un circuito de descarga abierto puede utilizarse como gas de trabajo por ejemplo también aire. El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención ofrece la ventaja de que presenta una densidad de energía alta, de manera que el generador de alta temperatura puede realizarse de forma relativamente compacta. Además, el regenerador de alta temperatura puede fabricarse de forma barata, ya que el material de almacenamiento es muy barato y además es compatible con el medio ambiente. El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención además ofrece la ventaja de que el circuito de descarga si es necesario puede realizarse de modo diferente. Ventajosamente el circuito de descarga acciona un generador u otro dispositivo que consume potencia mecánica para generar energía eléctrica o mecánica. No obstante, también es posible extraer

del circuito de descarga calor en lugar de o adicionalmente a la energía eléctrica, por ejemplo calor de procesos industrial o de calefactor.

5 En una realización particularmente ventajosa, el dispositivo de almacenamiento de energía comprende un generador eléctrico, y en una realización preferida comprende además un motor eléctrico, de manera que el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención puede ser cargado con energía eléctrica, y durante la descarga también libera nuevamente energía eléctrica. Un dispositivo de almacenamiento de energía de este tipo se denomina también en inglés "Electricity Energy Storage System by means of Pumped Heat (ESSPH)".

10 El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención que comprende un generador eléctrico, así como un motor eléctrico, puede así transformar energía eléctrica en energía térmica, almacenar la energía térmica, y transformar la energía térmica almacenada nuevamente en energía eléctrica. De este modo, el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención puede denominarse también "batería térmica", la cual puede cargarse mediante un proceso de carga y puede descargarse mediante un proceso de descarga, teniendo lugar el proceso de carga con la ayuda de un proceso de bomba térmica de gas caliente con una máquina de pistón y el proceso de descarga tiene lugar igualmente con la ayuda de la máquina de pistón. Para la compresión y la distensión se emplean máquinas de pistón, en particular máquinas de pistón móviles linealmente o máquinas de pistón de cruceta.

15 Por tanto, el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención, o la batería térmica, puede cargarse y descargarse de forma similar a una batería eléctrica, como también es posible en cualquier momento una carga parcial o una descarga parcial. El concepto de almacenamiento que sirve de base para el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención, mediante un diseño correspondiente de los subcomponentes permite potencias en el intervalo de preferiblemente entre 1 kW a 10 MW, y almacenar cantidades de energía en el intervalo entre preferiblemente algunos kWh a 50 MWh, y descargarlas nuevamente después de un tiempo. En una realización especialmente ventajosa, el generador eléctrico y el motor eléctrico están realizados como una única máquina en forma de un motogenerador. El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención es excelentemente adecuado para almacenar temporalmente energía eléctrica, por ejemplo 12 o 24 horas, por ejemplo para almacenar en una red eléctrica energía solar que se produce durante el día, y liberarla nuevamente durante la noche. Además, el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención es excelente para estabilizar la red eléctrica, en particular para estabilizar la frecuencia. En un modo de funcionamiento ventajoso, el dispositivo de almacenamiento de energía es operado con una velocidad de rotación constante y está conectado a la red eléctrica.

20 En una posible realización el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención comprende al menos cuatro máquinas de pistón, de modo que dos máquinas de pistón son operadas como compresor de pistón o como compresores de pistón y dos máquinas de pistón son operadas como expansor de pistón, comprendiendo tanto el circuito de carga como el circuito de descarga, respectivamente, un compresor de pistón y un expansor de pistón.

25 En una realización especialmente ventajosa, el dispositivo de almacenamiento de energía según la invención comprende una primera y una segunda máquina de pistón, siendo la primera máquina de pistón conmutable para funcionar o bien como compresor de alta temperatura o como expansor de alta temperatura, y de modo que la segunda máquina de pistón puede ser conmutada para funcionar o bien como compresor de baja temperatura o como expansor de baja temperatura. El regenerador de alta temperatura y las dos máquinas de pistón pueden ser unidas entre sí con conducción de fluido, de modo que durante la carga en el circuito de carga estén conectados el compresor de alta temperatura y el expansor de baja temperatura y que durante la descarga en el circuito de descarga estén conectados el compresor de baja temperatura y el expansor de alta temperatura. Esta forma de realización tiene la ventaja de que el dispositivo de almacenamiento de energía puede ser operado con dos máquinas de pistón y que preferiblemente además de las dos máquinas de pistón no son necesarios otros compresores ni expansores.

30 En otra realización especialmente ventajosa, la primera y la segunda máquina de pistón están integradas en una única máquina de pistón, y la máquina de pistón única está realizada como máquina de pistón de doble acción, comprendiendo esta un cilindro en el que está dispuesto un pistón de doble acción, de modo que el pistón de doble acción subdivide al cilindro en una primera y una segunda cámara interior. Esta única máquina de pistón, independientemente del estado de conmutación, forma o bien el compresor de alta temperatura y el expansor de baja temperatura o el expansor de alta temperatura y el compresor de baja temperatura. En una realización especialmente ventajosa esta máquina de pistón única es accionada por un accionamiento lineal, preferiblemente por un accionamiento lineal eléctrico, y de forma particularmente preferida por un accionamiento lineal eléctrico que puede ser utilizado también como generador lineal eléctrico, de modo que a través del accionamiento lineal, independientemente del modo de funcionamiento, al o del dispositivo de almacenamiento de energía puede ser alimentada o liberada energía o potencia eléctrica. Un dispositivo de almacenamiento de energía de este tipo puede ser fabricado de forma especialmente barata, y es particularmente adecuado también para el almacenamiento de potencias pequeñas, por ejemplo en el intervalo de 1kW a 100 KW, o para el almacenamiento de pequeñas cantidades de energía, por ejemplo en el intervalo de 1kWh a 500 kWh.

La invención se describirá a continuación en detalle mediante ejemplos de realización.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos utilizados para explicar los ejemplos de realización muestran:

- Fig. 1: un primer ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía que comprende un circuito de carga y un circuito de descarga;
- 5 Fig. 2: el circuito de carga según la figura 1 en detalle;
- Fig. 3: el circuito de descarga según la figura 1 en detalle;
- Fig. 4: un segundo ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía;
- Fig. 5: un tercer ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía;
- Fig. 6: un cuarto ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía;
- 10 Fig. 7: el circuito de carga según la figura 6 en detalle;
- Fig. 8: el circuito de descarga según la figura 6 en detalle;
- Fig. 9a: un acumulador de baja temperatura;
- Fig. 9b: otro acumulador de baja temperatura;
- Fig. 10: un quinto ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía;
- 15 Fig. 11: un ejemplo de realización del circuito de carga según la figura 11 en detalle;
- Fig. 12: el circuito de descarga según la figura 11 en detalle;
- Fig. 13: esquemáticamente un corte longitudinal a través de una máquina de pistón de doble acción;
- Fig. 14: un sexto ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía;
- Fig. 15: otro ejemplo de realización de un circuito de carga en detalle; y
- 20 Fig. 16: otro ejemplo de realización de un circuito de descarga en detalle.

Esencialmente las piezas iguales en los dibujos están provistas de los mismos símbolos de referencia.

Formas de realización de la invención

La figura 1 muestra un dispositivo de almacenamiento de energía 1 para almacenar energía térmica que comprende un circuito de carga cerrado 100 con líneas 101, un circuito de descarga cerrado 200 con líneas 201, un regenerador de alta temperatura 120, así como medios de conmutación 400, 401; estando los medios de conmutación 400, 401 conectados a las líneas 101, 201, de modo que el regenerador de alta temperatura 120 puede ser conectado con conducción de fluido al circuito de carga 100 o al circuito de descarga 200, de manera que el regenerador de alta temperatura 120 forma parte del circuito de carga 100 o del circuito de descarga 200. Un dispositivo de regulación 500 está unido con conducción de señales a los medios de conmutación 400, 401 y a otros sensores y actuadores no representados en detalle para controlar el dispositivo de almacenamiento de energía 1. Las figuras 2 y 3 muestran en detalle el circuito de carga 100 o el circuito de descarga 200 representados en la figura 1. El regenerador de alta temperatura 120 contiene un material de almacenamiento sólido, así como un gas de trabajo A como medio portador de calor, para intercambiar calor entre el material de almacenamiento y el gas de trabajo A circulante. Como material de almacenamiento sólido para el regenerador de alta temperatura son adecuados por ejemplo materiales porosos refractarios, arena, grava, rocas, hormigón, grafito o también una cerámica, como carburo de silicio. El regenerador de alta temperatura 120 comprende una cubierta externa 120a, así como un espacio interno, de modo que en el espacio interno el material de almacenamiento sólido está dispuesto y/o configurado de manera que el gas de trabajo A circula o puede circular a través o sobre el material de almacenamiento para el intercambio de calor. El regenerador de alta temperatura 120, como puede observarse en la figura 2, comprende además al menos una abertura de entrada 120b, así como al menos una abertura de salida 120c, para conducir o descargar al espacio interior del regenerador de alta temperatura el gas de trabajo A que fluye en las líneas 101 o 201, de manera que el gas de trabajo A que circula en el circuito de carga 100 o en el circuito de descarga 200 alcanza un contacto directo con el material de almacenamiento sólido. La figura 1 muestra un regenerador de alta temperatura 120 que se extiende o está dispuesto en la dirección vertical, de modo que ventajosamente el gas de trabajo A, durante la carga fluye desde arriba hacia abajo, y durante la descarga fluye desde abajo hacia arriba.

La figura 2 muestra en detalle el circuito de carga cerrado 100 representado en la figura 1. El circuito de carga cerrado 100 para el gas de trabajo A comprende un primer compresor 110, un primer expansor 140, un primer recuperador 130 con un primer y un segundo canal de intercambio de calor 130a, 130b, el regenerador de alta temperatura 120,

así como un precalentador 151, estado el primer compresor 110 acoplado al primer expansor 140 mediante un eje común 114. Los medios de conmutación 400 realizados como válvulas están conectados para el flujo y los medios de conmutación 401 no representados en la figura 2 están bloqueados, de manera que se forma un circuito de carga cerrado 100, en el que el gas de trabajo A fluye en la dirección de flujo A1 o en la dirección de flujo de carga A1. Como gas de trabajo A se utiliza preferentemente argón o nitrógeno. El gas de trabajo A, de manera ventajosa, se mantiene bajo sobrepresión para aumentar la densidad de potencia del compresor 110 y del expansor 140, y mejorar la transferencia de calor hacia los aparatos caloríficos. Preferiblemente, la presión se sitúa en un intervalo de 1 a 20 bar. Partiendo del regenerador de alta temperatura 120, el gas de trabajo A es conducido sucesivamente al menos al primer canal de intercambio de calor 130a del recuperador 130, al primer expansor 140, al precalentador 151, al segundo canal de intercambio de calor 130b del recuperador 130, al primer compresor 110 y después nuevamente al regenerador de alta temperatura 120, formándose un circuito cerrado con conducción de fluido. El primer compresor 110, el primer expansor 140, así como el primer recuperador 130 forman una bomba de calor. El precalentador 151 representa la fuente de energía que luego es llevada a un nivel de temperatura mayor por la bomba de calor para ser almacenada después en el regenerador. El gas de trabajo A precalentado por el precalentador 151 y el recuperador 130 es conducido como gas de entrada al primer compresor 110, allí es comprimido, experimentando debido a esto un aumento de temperatura y de presión. El gas de trabajo A comprimido es conducido al regenerador de alta temperatura 120, allí es enfriado, a continuación se enfría otra vez en el recuperador 130, y seguidamente es distendido en el primer expansor 140, para a continuación ser nuevamente precalentado en el precalentador 151 y en el recuperador 130. El primer expansor 140 y el compresor 110 están dispuestos sobre el mismo eje 114, de manera que el primer expansor 140 favorece el accionamiento del primer compresor 110. El eje 114 es accionado por un dispositivo de accionamiento no representado o un máquina motriz, por ejemplo un motor eléctrico, una turbina, o en general por una máquina motriz.

Para descargar nuevamente la energía térmica almacenada en el regenerador de alta temperatura 120 es necesario un circuito de descarga 200. Ese circuito de descarga 200 puede estar realizado de diferentes modos, dependiendo de para qué se necesite la energía térmica almacenada. La figura 3 muestra en detalle el circuito de descarga cerrado 200 representado en la figura 1, el cual está realizado con máquinas de pistón. Como gas de trabajo A se utiliza el mismo gas que en el circuito de carga 100, preferiblemente argón o nitrógeno. El circuito de descarga cerrado 200 para el gas de trabajo A comprende un segundo compresor 210, un segundo expansor 250, un segundo recuperador 230 con un primer y un segundo canal de intercambio de calor 230a, 230b, el regenerador de alta temperatura 120, así como un primer radiador 270, de modo que el segundo compresor 210 está acoplado al segundo expansor 250 a través del eje 214. Los medios de conmutación 401 realizados como válvulas están conectados para el flujo y los medios de conmutación 400 no representados en la figura 3 están bloqueados, de manera que se forma un circuito de descarga cerrado 200, en el que el gas de trabajo A fluye en la dirección de flujo A2 o en la dirección de flujo de descarga A2. El circuito de descarga 200 está realizado de manera que partiendo del regenerador de alta temperatura 120 están unidos entre sí con conducción de fluido uno tras otro al menos el segundo expansor 250, el primer canal de intercambio de calor 230a del segundo recuperador 230, el primer radiador 270, el segundo compresor 210, el segundo canal de intercambio de calor 230b del recuperador 230, y después el regenerador de alta temperatura 120, formando el circuito cerrado, de modo que el gas de trabajo A fluye en el circuito de descarga 200 en la dirección de flujo A2 o en la dirección de flujo de descarga A2. Como está representado en la figura 3, en el primer radiador 270 preferentemente se enfría a la temperatura ambiente U. Como puede observarse en las figuras 2 y 3, en el regenerador de alta temperatura 120 la dirección de flujo de descarga A2 se extiende en dirección opuesta a la dirección de flujo de carga A1. El gas de trabajo A que sale del regenerador de alta temperatura 120 es distendido por el segundo expansor 250, y de esta forma es enfriado, y después se enfría otra vez en el segundo recuperador 230 y en el primer radiador 270, antes de que el gas de trabajo A sea comprimido en el segundo compresor 210 y a continuación sea precalentado en el segundo recuperador 230, para después nuevamente fluir al regenerador de alta temperatura 120. El segundo compresor 210 y el segundo expansor 250 están acoplados entre sí y en el ejemplo de realización representado unidos a un eje 214, de manera que el segundo expansor 250 acciona al segundo compresor 210. Del eje 214 se extrae energía mediante una disposición no representada, pudiendo por ejemplo estar unido al eje 214 un generador o una máquina de trabajo.

En una posible realización el dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado en las figuras 1 a 3 comprende dos compresores de pistón que forman el primer y segundo compresor 110, 210, así como dos expansores de pistón que forman el primer y el segundo expansor 140, 250. En una realización especialmente ventajosa, el dispositivo de almacenamiento de energía 1 comprende una primera máquina de pistón K1 y una segunda máquina de pistón K2, como está representado en la figura 1, de modo que el primer compresor 110 forma parte de la primera máquina de pistón K1 y el primer expansor 140 forma parte de la segunda máquina de pistón (K2), siendo las máquinas de pistón K1, K2 controlables para que funcionen como compresor o como expansor, de modo que la primera máquina de pistón K1 también forma parte del segundo expansor 250 y la segunda máquina de pistón K2 forma parte del segundo compresor 210. Por tanto, bastan dos máquinas de pistón para accionar el dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado en la figura 1.

La figura 4 muestra otra realización ventajosa de un dispositivo de almacenamiento de energía 1. A diferencia del dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado en las figuras 1 a 3 con dos recuperadores 130 separados, el dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado en la figura 4 presenta un único recuperador 130 común. El gas de trabajo A es dirigido con la ayuda de medios de conmutación 400, 401, tales como válvulas, que actúan para

que se forme un circuito de carga 100 o un circuito de descarga 200, igual que el circuito de carga 100 o el circuito de descarga 200 representados en la figura 2 o 3, con la diferencia de que existe solo un único recuperador 130 común.

En otra realización especialmente ventajosa, el dispositivo de almacenamiento de energía 1, junto con el circuito de carga 100 y el circuito de descarga 200, comprende además un sistema de precalentamiento 150 para un fluido de precalentamiento V circulante. El sistema de precalentamiento 150 comprende en particular un primer acumulador de fluido 152, en el que es almacenado un fluido de precalentamiento V1 calentado, un segundo acumulador de fluido 222 en el que es almacenado un fluido de precalentamiento V2 refrigerado, así como líneas de fluido 155, 224, y eventualmente medios transportadores 153, 223, para hacer circular el fluido de precalentamiento V en el sistema de precalentamiento 150, y en particular para conducirlo al precalentador 151 y al radiador 221. En el ejemplo de realización representado, el fluido de precalentamiento V calentado, partiendo del primer acumulador de fluido 152, es conducido al precalentador 151, y el fluido de precalentamiento V después enfriado es conducido al segundo acumulador de fluido 222. El fluido de precalentamiento V refrigerado del segundo acumulador de fluido 222 es conducido a un radiador posterior 221, y el fluido de precalentamiento V después calentado es conducido al primer acumulador de fluido 152. Como fluido de precalentamiento V preferentemente se utiliza agua, ya que el agua presenta una densidad de acumulación elevada con respecto al calor. El segundo acumulador de fluido 222 podría estar realizado como un recipiente de líquido, de manera que el sistema de precalentamiento 150 forma un circuito cerrado. El segundo acumulador de fluido 222 también podría estar realizado abierto, de modo que en lugar de un recipiente, también una masa de agua como por ejemplo un lago, podría ser adecuado para recibir el fluido de precalentamiento V refrigerado o para proporcionar fluido de refrigeración V.

En una realización ventajosa, el dispositivo de almacenamiento de energía 1 es utilizado para almacenar energía eléctrica y para la liberación de energía eléctrica en un tiempo posterior. La figura 4 muestra un dispositivo de almacenamiento de este tipo para energía eléctrica que comprende el dispositivo de almacenamiento de energía 1, así como comprende un motor eléctrico 170 y un generador 290. En una realización especialmente ventajosa, el motor eléctrico 170 y el generador 290 están reunidos en única máquina, formando un llamado motogenerador. Por consiguiente, el dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado en la figura 4 puede fabricarse de forma especialmente favorable, porque sólo se necesita un único motogenerador 170/290, un único regenerador de alta temperatura 120 y un único recuperador 130.

A continuación se explican además algunos detalles sobre el modo de funcionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía 1 ventajoso representado en la figura 4. El primer compresor 110, el primer expansor 140 y el primer recuperador 130 forman una bomba de calor en el circuito de carga 100. El gas de trabajo A precalentado es conducido al primer compresor 110 y allí es llevado a la presión máxima o a la temperatura máxima en el circuito de carga 100. El gas de trabajo A es conducido después a través del regenerador de alta temperatura 120, allí es enfriado y a continuación es enfriado nuevamente en el recuperador 130. El gas de trabajo A es distendido a continuación en el primer expansor 140 a la presión más baja en el circuito de carga 100, de modo que la energía liberada así en el primer expansor 140 es aprovechada para el accionamiento parcial del primer compresor 110. Después, el gas de trabajo A fluye a través del precalentador 151 y así es precalentado. El precalentador 151 está conectado al sistema de precalentamiento 150 y recibe la energía térmica desde el primer acumulador de fluido 152 para el fluido de precalentamiento tibio, en la forma de realización representada como agua tibia.

El circuito de descarga 200 comprende un segundo compresor 210, realizado como un compresor de pistón, y comprende el radiador posterior 221, el recuperador 130, el regenerador de alta temperatura 120, el segundo expansor 250 y el primer radiador 270 que enfría a la temperatura ambiente U. El radiador posterior 221 está conectado a través de líneas 224 al sistema de precalentamiento 150, siendo el fluido frío extraído del acumulador 222, conducido al radiador 221 a través del medio transportador 223, y el fluido calentado es conducido al acumulador 152.

La figura 5 muestra otro ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía 1 que comprende de nuevo un circuito de carga 100, un circuito de descarga 200, así como un circuito de precalentamiento 150. El dispositivo de almacenamiento de energía 1 según la figura 5 está realizado de forma similar al dispositivo de almacenamiento de energía 1 según la figura 4, pero se diferencia al menos en cuanto a los siguientes aspectos.

El circuito de precalentamiento 150 está realizado como circuito cerrado, comprendiendo un recipiente cerrado 222, en el que como fluido en el circuito cerrado se utiliza preferentemente agua. Además, en el circuito de precalentamiento 150 está dispuesto un intercambiador de calor 221, además está dispuesto un intercambiador de calor 154 que intercambia calor con respecto al ambiente U. Alternativamente el intercambiador de calor 154 también puede estar dispuesto entre el acumulador de agua fría 222 y el dispositivo transportador 223. Alternativamente el intercambiador de calor 154 también puede estar dispuesto en el acumulador de agua fría 222, para intercambiar calor directamente entre el acumulador de agua fría 222 y el ambiente U, u otro medio. Por ejemplo, el acumulador de agua fría 222 podría refrigerarse por las noches mediante el intercambiador de calor 154.

En una realización ventajosa el circuito de carga 100 comprende un calentador adicional 190 que está dispuesto entre el primer compresor 110 y el regenerador de alta temperatura 120. El calentador adicional 190 se utiliza para calentar posteriormente otra vez el gas de trabajo A caliente que abandona el primer compresor 110, por ejemplo de 750 °C a 1500 °C, para aumentar de este modo la energía almacenada en el regenerador de alta temperatura 120. El calentador adicional 190 por ejemplo podría contener un calentador eléctrico 190a para calentar el gas de trabajo A circulante.

En función del aumento de temperatura del gas de trabajo A provocado por el calentador adicional 190, la energía térmica almacenada en el regenerador de alta temperatura 120 puede aumentarse en un factor considerable, por ejemplo en un factor 2.

5 El circuito de descarga 200 comprende un radiador adicional 260, mediante el cual del circuito de descarga 200 puede ser extraído calor para un proceso térmico 260a. El proceso térmico 260a podría ser por ejemplo un sistema térmico combinado local para calefacciones de viviendas.

En la figura 5 están representados además medios de conmutación 400, 401 o válvulas que son necesarios para en el dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado conmutar entre el proceso de carga y el proceso de descarga o entre el circuito de carga 100 y el circuito de descarga 200.

10 El dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado en la figura 5, entre otras cosas, ofrece la ventaja de que, en caso de que se desee, la energía térmica puede también ser descargada directamente, y la energía térmica puede descargarse también en diferentes lugares y a temperaturas diferentes. Como está representado en la figura 5, el segundo acumulador de fluido 222 puede estar realizado también por ejemplo como recipiente cerrado, de modo que en el circuito de precalentamiento 150 está dispuesto un intercambiador de calor adicional 154 que intercambia calor con el ambiente.

15 En los ejemplos de realización representados en las figuras 1 a 5, el circuito de carga 100 y el circuito de descarga 200 son operados ventajosamente cargados por presión. El primer compresor 110 y el segundo compresor 210 están realizados como compresor de pistón. El primer compresor 110 y el segundo compresor 210 están equipados preferentemente sin dispositivo de regulación. No obstante, el primer y el segundo compresor 110, 210 también podrían estar provistos de un dispositivo de regulación de flujo. Preferentemente, en el primer compresor o en el segundo compresor 110, 210, el dispositivo de regulación de flujo consta de una pinza de levantamiento.

Preferentemente el primer compresor 110 no está refrigerado. De manera opcional, el primer compresor 110 también podría estar equipado con un dispositivo de refrigeración.

25 Ventajosamente el regenerador de alta temperatura 120 es un recipiente resistente a la presión, resistente a la temperatura, con aislamiento térmico. Ventajosamente, el regenerador de alta temperatura 120 está provisto de un material de almacenamiento de calor 121 poroso, resistente a la temperatura, de modo que el gas de trabajo A fluye en los espacios libres del regenerador de alta temperatura 120. Ventajosamente, el regenerador de alta temperatura 120 está dispuesto de forma vertical y, durante la carga, preferentemente es atravesado desde arriba hacia abajo y durante la descarga es atravesado desde abajo hacia arriba.

30 El fluido en el circuito de precalentamiento 150 es preferentemente agua. Opcionalmente podrían también utilizarse otros fluidos, por ejemplo una mezcla de agua y monoetilenglicol. El circuito de precalentamiento 150 es operado preferentemente sin presión. Opcionalmente el circuito de precalentamiento 150 puede ser operado con aplicación de presión. En ese caso, el circuito de precalentamiento 150 está realizado resistente a la presión.

35 Preferentemente, el accionamiento 170 del circuito de carga 100 está realizado como motor eléctrico. Como accionamiento 170 son adecuadas una pluralidad de máquinas motrices. Opcionalmente el motor eléctrico está provisto de un convertidor de frecuencia. Opcionalmente, el accionamiento 170 del circuito de carga 100 es una turbina de vapor. Opcionalmente, el accionamiento 170 del circuito de carga 100 es una turbina de gas. Opcionalmente el accionamiento 170 del circuito de carga es un motor de combustión. Preferentemente, los componentes giratorios del circuito de carga 100 son operados con una velocidad de rotación constante. Opcionalmente, los componentes giratorios del circuito de carga 100 son operados con una velocidad de rotación variable.

40 Preferentemente, el consumidor 290 del circuito de descarga 200 está realizado como generador. Opcionalmente, el generador está provisto de un convertidor de frecuencia. Opcionalmente, el consumidor 290 del circuito de descarga 200 es un compresor. Opcionalmente, el consumidor 290 del circuito de descarga 200 es una bomba. Opcionalmente, el consumidor 290 del circuito de descarga 200 es una hélice de barco. Preferentemente, los componentes giratorios del circuito de descarga 200 son operados con una velocidad de rotación constante. Opcionalmente, los componentes giratorios del circuito de descarga 200 son operados con una velocidad de rotación variable.

En otro ejemplo de realización posible, como gas de trabajo podría utilizarse también aire, debiendo asegurarse entonces que el material de almacenamiento S en el regenerador de alta temperatura 120 esté hecho de un material no inflamable.

50 La figura 6 muestra un cuarto ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía 1. La figura 7 muestra en detalle el circuito de carga cerrado 100 según la figura 6 y la figura 8 muestra en detalle el circuito de descarga cerrado 200 según la figura 6. El dispositivo de almacenamiento de energía 1 para almacenar energía comprende:

- un regenerador de alta temperatura 120 que contiene un material de almacenamiento S sólido, en particular poroso,
- 55 - un gas de trabajo A como medio portador de calor para intercambiar calor entre el material de almacenamiento S y

el gas de trabajo A circulante,

- un circuito de carga 100, así como un circuito de descarga 200 para el gas de trabajo A, en el que el circuito de carga 100 está realizado de tal modo que partiendo de un precalentador 151, que está realizado como acumulador de calor de baja temperatura, al menos un primer canal de intercambio de calor 130a de un recuperador 130, un primer compresor 110, el regenerador de alta temperatura 120, un segundo canal de intercambio de calor 130b del recuperador 130, y a continuación un primer expansor 140 están unidos entre sí con conducción de fluido formando un circuito cerrado. El primer compresor 110 está acoplado al primer expansor 140, preferentemente a través de un eje común 114. Ventajosamente el eje común 114 está unido además al motor eléctrico 170 o un generador eléctrico 290. El primer compresor 110 forma parte de una primera máquina de pistón K1 y el primer expansor 140 forma parte de una segunda máquina de pistón K2. La figura 8 muestra el circuito de descarga cerrado 200 que comprende un segundo compresor 210, así como un segundo expansor 250. Las máquinas de pistón K1, K2 pueden ser controladas de modo que funcionen o bien como compresor o como expansor, de manera que el primer compresor 110 del circuito de carga 100 forma en el circuito de descarga 200 un segundo expansor 250 y que el primer expansor 140 del circuito de carga 100 forma un segundo compresor 210 en el circuito de descarga 200. Con ayuda de los medios de conmutación 400, 401 representados solo en la figura 6, el regenerador de alta temperatura 120 puede ser conectado con conducción de fluido al circuito de carga 100 o al circuito de descarga 200, de modo que el regenerador de alta temperatura 120, el recuperador 130, el compresor, así como el expansor, formen parte del circuito de carga 100 o parte del circuito de descarga 200. El circuito de carga 100, el circuito de descarga 200 y el regenerador de alta temperatura 120 presentan el mismo gas de trabajo A, de manera que el gas de trabajo A, tanto en el circuito de carga 100, como en el circuito de descarga 200, entra en contacto directo con el material de almacenamiento del regenerador de alta temperatura 120.

Cómo está representado en la figura 6, la primera máquina de pistón K1 puede ser conmutada para que funcione o bien como compresor de alta temperatura 110a o como expansor de alta temperatura 250a. La segunda máquina de pistón K2 puede ser conmutada para que funcione como compresor de baja temperatura 210a o como expansor de baja temperatura 140a. En el circuito de carga 100, el primer compresor 110 está realizado como compresor de alta temperatura 110a, y el primer expansor 140 está realizado como expansor de baja temperatura 140a. En el circuito de descarga 200, el segundo compresor 210 está realizado como compresor de baja temperatura 210a y el segundo expansor 250 está realizado como expansor de alta temperatura 250a. Por tanto, bastan dos máquinas de pistón para el accionamiento del dispositivo de almacenamiento de energía representado en la figura 6. Naturalmente también podrían ser empleadas máquinas de pistón adicionales, por ejemplo operar en paralelo máquinas de pistón para el aumento de la potencia, de modo que por ejemplo dos primeras máquinas de pistón K1 y dos segundas máquinas de pistón K2 sean operadas conectadas en paralelo. Las máquinas de pistón conectadas en paralelo son operadas preferentemente de forma idéntica. Ventajosamente, como está representado en las figuras 6 a 8, la primera máquina de pistón K1 está montada directamente antes o directamente detrás del regenerador de alta temperatura 120, dependiendo de la dirección de flujo del gas de trabajo A, de modo que la primera máquina de pistón K1 también puede ser denominada máquina de gas caliente, es decir el gas de trabajo A transportado presenta en la primera máquina de pistón K1 una temperatura alta, mientras que el primer compresor 110 o el segundo expansor 250 de la primera máquina de pistón K1 también puede ser denominado compresor de alta temperatura 110a o expansor de alta temperatura 250a. En la segunda máquina de pistón K2, el gas de trabajo A transportado presenta una temperatura relativamente baja, por ejemplo la temperatura ambiente, por lo que la segunda máquina de pistón K2 también puede ser denominada como máquina de gas frío, de modo que el segundo compresor 210 o el primer expansor 140 de la segunda máquina de pistón K2 también puede ser denominado compresor de baja temperatura 210a o expansor de baja temperatura 140a.

La figura 9a muestra un ejemplo de realización de un precalentador 151 realizado como acumulador de baja temperatura que comprende un tanque de agua 156 lleno de agua y una línea de intercambio de calor 157 que se extiende en el agua. El precalentador 151 puede ser unido discrecionalmente al circuito de carga 100 o al circuito de descarga 200 con la ayuda de medios de conmutación, como está representado por ejemplo en la figura 6. La figura 9b muestra otro ejemplo de realización de un precalentador 151, realizado como acumulador de baja de temperatura, que comprende un tanque de agua 156 lleno de agua, así como líneas de suministro y descarga 158a, 158b que están unidas a un transmisor de calor 159 a través de bombas 158c. El transmisor de calor 159 puede ser unido discrecionalmente al circuito de carga 100 o al circuito de descarga 200 con ayuda de medios de conmutación, como están representados por ejemplo en la figura 6.

La figura 10 muestra un quinto ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía 1 que presenta un circuito de carga abierto 100 y un circuito de descarga abierto 200. La figura 11 muestra el circuito de carga abierto representado en la figura 11 presenta una entrada U_E desde el ambiente y una salida U_A al ambiente, de modo que al precalentador 151 es alimentado preferiblemente aire de ambiente U_E y el aire tras atravesar el circuito de carga 100 después del primer expansor 140 es liberado de nuevo al ambiente como corriente de fluido U_A . Alternativamente, el precalentador 151 también puede recibir calor de otra fuente de calor, por ejemplo estando dispuesto en el compresor de alta temperatura 110a como está representado en la figura 15, que debido a las altas temperaturas debe ser ejecutado enfriado, de modo que el precalentador 151 actúa al mismo tiempo como radiador. En este caso el precalentamiento está asegurado por tanto mediante el enfriamiento del compresor de alta temperatura. Esto se refiere también a la variante cerrada de la figura 6. En el circuito de carga 100 según la figura 7 el precalentador 151 podría estar realizado

como radiador del compresor de alta temperatura 110a como está representado en la figura 15, de modo que la salida del circuito cerrado después del primer expansor 140 fuera alimentada al precalentador 151 que se encuentra en el compresor de alta temperatura 110a, y el precalentador 151 está unido a continuación al recuperador 130. La figura 12 muestra un ejemplo de realización de un circuito de descarga abierto 200 que comprende un regenerador de alta temperatura 120 y una cámara de combustión 310 conectada en paralelo. A la cámara de combustión 310 puede ser alimentado un combustible 311 de forma controlable. El aire ambiente U_E es alimentado al compresor 210 y después del recuperador 130 es alimentado de forma controlable al regenerador de alta temperatura 120 y/o la cámara de combustión 310. Este dispositivo de almacenamiento de energía 1 presenta la ventaja de que con el mismo dispositivo puede ser quemado un combustible para generar energía a partir de él, en particular energía eléctrica. Como combustible son adecuados una pluralidad de combustibles, por ejemplo hidrógeno, hidrocarburos, como gas natural, metano o petróleo crudo, o también combustibles que se producen en el aprovechamiento de residuos, como por ejemplo biogás. El dispositivo de almacenamiento de energía según la invención puede por tanto también utilizar combustibles o generar energía eléctrica a partir de combustibles. El gas que abandona la cámara de combustión 310 es una mezcla de gas ambiente y gases de combustión. La figura 10 muestra una combinación de los circuitos representados en las figuras 11 y 12.

La figura 13 muestra un ejemplo de realización de una máquina de pistón de doble acción K, en la que la primera y la segunda máquina de pistón K1, K2 están reunidas formando una única máquina de pistón K. La única máquina de pistón K comprende un pistón 300 de doble acción que en un cilindro 301 forma una primera y una segunda cámara interior 302, 303, de modo que la primera cámara interior 302 forma parte del compresor de alta temperatura 110a y la segunda cámara interior 303 forma parte del expansor de baja temperatura 140a, o viceversa, que la primera cámara interior 302 forma parte del expansor de alta temperatura 250a y la segunda cámara interior 303 forma parte del compresor de baja temperatura 210a. Están previstas además válvulas de entrada 305, 307 y válvulas de salida 306, 308 para posibilitar un intercambio de fluido con la primera cámara interior 302 o la segunda cámara interior 303 y el circuito de carga 100 o el circuito de descarga 200. Si se usan máquinas de pistón con válvulas, los medios de conmutación 400, 401 externos representados por ejemplo en las figuras 1 y 5, son innecesarios. Una barra de pistón 304 móvil linealmente en su dirección de avance está unida al pistón 300. La barra de pistón 304 está unida a una máquina motriz, así como a una máquina de trabajo. En una realización especialmente ventajosa la máquina motriz y la máquina de trabajo están realizadas como motor lineal eléctrico o como generador lineal, de manera que la máquina de pistón de doble acción K puede ser accionada con el motor lineal a través de un movimiento lineal, y la máquina de pistón de doble acción K genera potencia eléctrica a través del generador lineal. Ventajosamente el compresor de alta temperatura 110a o el expansor de alta temperatura 250a, como está representado en la figura 13, presenta un mayor volumen que el compresor de baja temperatura 210a o el expansor de baja temperatura 140a, en particular porque el gas caliente ocupa un mayor volumen. Ventajosamente la máquina de pistón de doble acción K es operada sin aceite o al menos en el pistón 300 se utiliza una junta sin aceite para evitar que el circuito de carga 100 o el circuito de descarga 200 se ensucian con aceite. En una realización ventajosa las válvulas de entrada 305, 307 y/o las válvulas de salida 306, 308 son controladas en particular para controlar la cantidad de gas de trabajo A transportado y para la conmutación del dispositivo desde el proceso de carga al proceso de descarga.

La figura 14 muestra un circuito de descarga 200 de un sexto ejemplo de realización de un dispositivo de almacenamiento de energía 1. A diferencia del circuito de descarga 200 representado en la figura 12, en el circuito de descarga 200 representado en la figura 14 la cámara de combustión 310 representada en la figura 12 es sustituida por una pila de combustible 320 representada esquemáticamente o un sistema de pilas de combustible que comprende la pila de combustible 320 representado esquemáticamente. Como pila de combustible 320 es especialmente adecuada una pila de combustible de óxido sólido. A la pila de combustible 320 es alimentada de forma conocida en sí por un lado al menos una parte del aire ambiente U_E que se encuentra en el circuito de descarga 200 y calentado, y por otro lado es alimentado un combustible 322, por ejemplo hidrógeno, metano o biogás. Los gases de escape 323 de la pila de combustible 320 son conducidos al circuito de descarga 200. Además la energía eléctrica 322 generada es descargada por la pila de combustible 320.

El circuito de descarga 200 representado en la figura 14 es combinado ventajosamente con el circuito de carga 100 representado en la figura 11 para formar un dispositivo de almacenamiento de energía 1 similar al dispositivo de almacenamiento de energía 1 representado en la figura 10, con la excepción de que la cámara de combustión 310 es sustituida por la pila de combustible 320 o un sistema de pilas de combustible que comprende la pila de combustible 320. Tal disposición presenta un grado de eficiencia total mayor que el dispositivo de almacenamiento de energía 1 según la figura 10 que comprende la cámara de combustión 310. Un dispositivo de almacenamiento de energía 1 que comprende el circuito de descarga 200 según la figura 14 puede presentar en la corriente de hidrógeno, metano u otro combustibles adecuados un grado de eficiencia eléctrica de por ejemplo más del 70 %. Son adecuados tipos de pilas de combustible diferentes, siendo especialmente adecuada la pila de combustible de óxido sólido, ya que esta presenta ventajosamente temperaturas de funcionamiento de aproximadamente 1000 °C.

La figura 16 muestra otro circuito de descarga 200 que no comprende el precalentador 151, sino en su lugar está equipado con un circuito de descarga 200 idéntico al representado en la figura 12. El circuito de carga 100 representado en la figura 15 y el circuito de descarga 200 representado en la figura 16 son combinados preferiblemente para formar un dispositivo de almacenamiento de energía 1, como está representado en la figura 10, con la diferencia de que el precalentador 151 está dispuesto en el primer compresor 110 y enfría este, de modo que el circuito de descarga 200, como está representado en la figura 16, no necesita ningún precalentador 151.

ES 2 833 370 T3

5 El dispositivo de almacenamiento de energía 1 cerrado representado en las figuras 6 a 8 podría ser modificado de modo que el precalentador 151, como está representado en la figura 15, reciba calor del compresor 110 enfriando a este, de modo que en la figura 7 el precalentador 151 estaría dispuesto en el compresor 110. En tal configuración podría prescindirse del precalentador 151 en el circuito de descarga 200 según la figura 8, de manera que el segundo compresor 210 estaría unido directamente al recuperador 130.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de almacenamiento de energía (1) para almacenar energía, que comprende:
 - un regenerador de alta temperatura (120) que contiene un material de almacenamiento (S) sólido, en particular poroso,
 - 5 - un gas de trabajo (A) como medio portador de calor para intercambiar calor entre el material de almacenamiento (S) y el gas de trabajo (A) circulante, y
 - un circuito de carga (100) y un circuito de descarga (200) para el gas de trabajo (A), en el que el circuito de carga (100) está realizado de tal modo que partiendo de un precalentador (151), al menos un primer canal de intercambio de calor de un recuperador (130), un primer compresor (110), el regenerador de alta temperatura (120), un segundo canal de intercambio de calor del recuperador (130) y a continuación un primer expansor (140) están unidos entre sí con conducción de fluido formando un circuito, y en el que el primer compresor (110) está acoplado al primer expansor (140), y en el que el primer compresor (110) forma parte de una primera máquina de pistón (K1) y el primer expansor (140) forma parte de una segunda máquina de pistón (K2), de modo que las máquinas de pistón (K1, K2) pueden ser controladas para que funcionen o bien como compresor o bien como expansor, de manera que el primer compresor (110) del circuito de carga (100) forma en el circuito de descarga (200) un segundo expansor (250), y que el primer expansor (140) del circuito de carga (100) forma un segundo compresor (210) en el circuito de descarga (200), y en el que el regenerador de alta temperatura (120) puede ser controlado para ser conectado con conducción de fluido al circuito de carga (100) o al circuito de descarga (200), de modo que el regenerador de alta temperatura (120), el compresor, así como el expansor formen parte del circuito de carga (100) o del circuito de descarga (200), y en el que el circuito de carga (100), el circuito de descarga (200) y el regenerador de alta temperatura (120) presentan el mismo gas de trabajo (A), de manera que el gas de trabajo (A), tanto en el circuito de carga (100) como en el circuito de descarga (200), entra en contacto directo con el material de almacenamiento del regenerador de alta temperatura (120).
2. Dispositivo de almacenamiento de energía según la reivindicación 1, caracterizado por que el circuito de carga (100) está configurado como circuito de carga cerrado y por que el circuito de descarga (200) está configurado como circuito de descarga cerrado.
3. Dispositivo de almacenamiento de energía según la reivindicación 2, caracterizado por que el circuito de descarga (200) comprende el segundo compresor (210), el segundo expansor (250), el recuperador (130), el regenerador de alta temperatura (120), el precalentador (151), así como un radiador (270), en el que el circuito de descarga (200) está realizado de modo que partiendo del regenerador de alta temperatura (120), al menos el segundo expansor (250), el primer canal de intercambio de calor del recuperador (130), el radiador (270), el segundo compresor (210), el precalentador (151), el segundo canal de intercambio de calor del recuperador (130), y después el regenerador de alta temperatura (120), están conectados entre sí con conducción de fluido formando el circuito cerrado.
4. Dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la primera máquina de pistón (K1) puede ser conmutada para que funcione o bien como un compresor de alta temperatura (110a) o como un expansor de alta temperatura (250a), por que la segunda máquina de pistón (K2) puede ser conmutada para que funcione como compresor de baja temperatura (210a) o como expansor de baja temperatura (140a), por que en el circuito de carga (100) el primer compresor (110) está realizado como compresor de alta temperatura (110a) y el primer expansor (140) como expansor de baja temperatura (140a), y por que en el circuito de descarga (200) el segundo compresor (210) está realizado como compresor de baja temperatura (210a) y el segundo expansor (250) como expansor de alta temperatura (250a).
5. Dispositivo de almacenamiento de energía según la reivindicación 4, caracterizado por que la primera máquina de pistón (K1) está montada directamente delante o directamente detrás del regenerador de alta temperatura (120) dependiendo de la dirección de flujo del gas de trabajo (A).
6. Dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la primera máquina de pistón (K1) y la segunda máquina de pistón (K2) están acopladas a una máquina motriz y/o a una máquina de trabajo, estando realizadas la máquina motriz preferiblemente como un motor eléctrico y la máquina de trabajo preferiblemente como un generador eléctrico.
7. Dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el material de almacenamiento (S) del regenerador de alta temperatura (120) comprende al menos uno de siguientes materiales: material poroso, arena, grava, rocas, hormigón, grafito, cerámica, tal como carburo de silicio.
8. Dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la primera y la segunda máquina de pistón (K1, K2) están realizadas por al menos dos máquinas de pistón (K1, K2) separadas, o por una única máquina de pistón que comprende al menos dos pistones.
9. Dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la primera y la segunda máquina de pistón (K1, K2) están realizadas por una única máquina de pistón (K), comprendiendo la

- 5 única máquina de pistón (K) un pistón de doble acción (300) que forma una primera y una segunda cámara interior (302, 303) en un cilindro (301), de modo que la primera cámara interior (302) forma parte del compresor de alta temperatura (110a) y la segunda cámara interior (303) forma parte del expansor de baja temperatura (140a), o viceversa, que la primera cámara interior (302) forma parte del expansor de alta temperatura (250a) y la segunda cámara interior (303) forma parte del compresor de baja temperatura (210a).
- 10 10. Dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones anteriores con la excepción de las reivindicaciones 2 o 3, caracterizado por que en el circuito de descarga (200) está conectada en paralelo al regenerador de alta temperatura (120) una cámara de combustión (310), de modo que el gas de trabajo (A) en el circuito de descarga (200) puede ser calentado alternativa o adicionalmente por un combustible alimentado a través de la cámara de combustión (310).
- 15 11. Dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones anteriores con la excepción de las reivindicaciones 2 o 3, caracterizado por que en el circuito de descarga (200) está conectada en paralelo al regenerador de alta temperatura (120) una pila de combustible (320), de modo que una parte del gas de trabajo (A) está alimentada a la pila de combustible (320) y en el que los gases de escape (323) de la pila de combustible (320) son conducidos al circuito de descarga (200).
- 20 12. Procedimiento para almacenar energía en un dispositivo de almacenamiento de energía (1), que comprende un regenerador de alta temperatura (120) que contiene un material de almacenamiento (S) sólido, en particular poroso, en el que un gas de trabajo (A) es calentado y transportado en un circuito de carga (100), siendo calentado el gas de trabajo (A) en un precalentador (151) y a continuación en un recuperador (130), después el gas de trabajo (A) es comprimido y calentado en un primer compresor (110), realizado como primera máquina de pistón (K1), y el gas de trabajo (A) así calentado es conducido a continuación al regenerador de alta temperatura (120), de modo que el gas de trabajo (A) conduce calor al material de almacenamiento (S) y el gas de trabajo (A) a continuación es enfriado en el recuperador (130) y después es distendido en un primer expansor (140), realizado como segunda máquina de pistón (K2), en el que el primer compresor (110) es accionado por el primer expansor (140) al menos parcialmente, y en el que del regenerador de alta temperatura (120) se extrae energía térmica a través de un circuito de descarga (200), en el que el regenerador de alta temperatura (120) puede ser conmutado para formar parte del circuito de carga (100) o del circuito de descarga (200), mientras que el regenerador de alta temperatura (120) es conectado al circuito de carga (100) o al circuito de descarga (200) con conducción de fluido, en el que el circuito de carga (100), el circuito de descarga (200), así como el regenerador de alta temperatura (120), son atravesados por el mismo gas de trabajo (A), de manera que el material de almacenamiento es atravesado directamente por el gas de trabajo (A), tanto en el circuito de carga (100), como en el circuito de descarga (200).
- 25 30 13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado por que el circuito de carga (100) y el circuito de descarga (200) son operados como circuitos cerrados.
- 35 14. Procedimiento según la reivindicación 12 o 13, caracterizado por que la primera máquina de pistón (K1) puede ser conmutada para que funcione como compresor de alta temperatura (110a) o como expansor de alta temperatura (250a), por que la segunda máquina de pistón (K2) puede ser conmutada para que funcione como compresor de baja temperatura (210a) o como expansor de baja temperatura (140a), y por que el regenerador de alta temperatura (120), así como las máquinas de pistón (K1, K2) pueden ser controladas de manera que sean conectadas al circuito de carga (100) o al circuito de descarga (200), por que el circuito de carga (100) comprende el compresor de alta temperatura (110a) y el expansor de baja temperatura (140a), y por que el circuito de descarga (200) comprende el compresor de baja temperatura (210a) y el expansor de alta temperatura (250a).
- 40 15. Uso de un dispositivo de almacenamiento de energía según una de las reivindicaciones 1 a 11 para el almacenamiento de energía eléctrica y para la descarga de energía en un momento posterior.

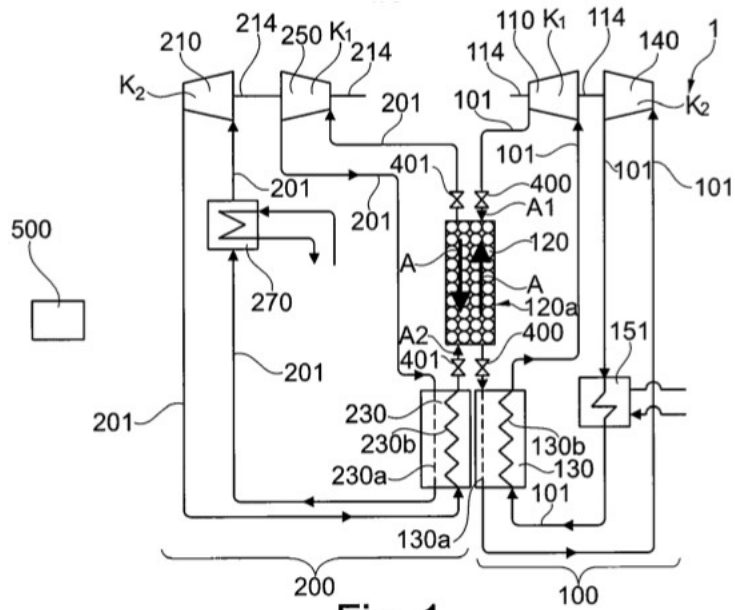


Fig. 1

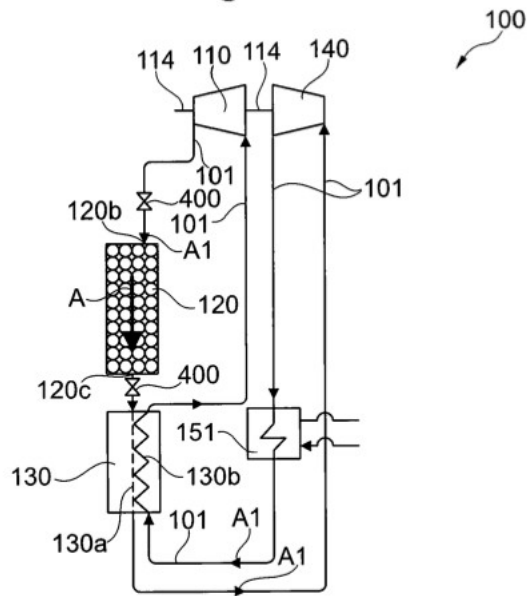


Fig. 2

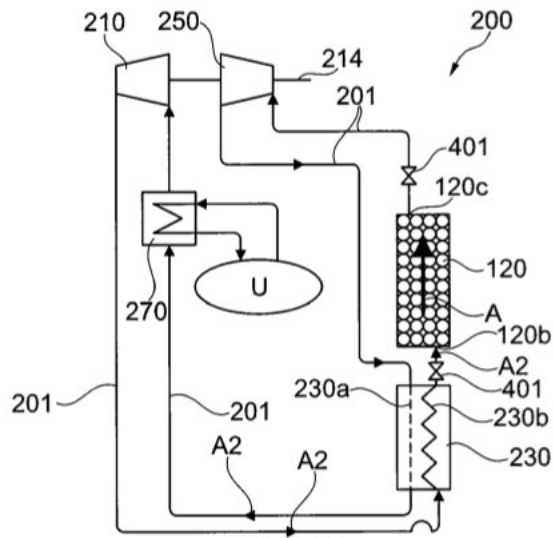


Fig. 3

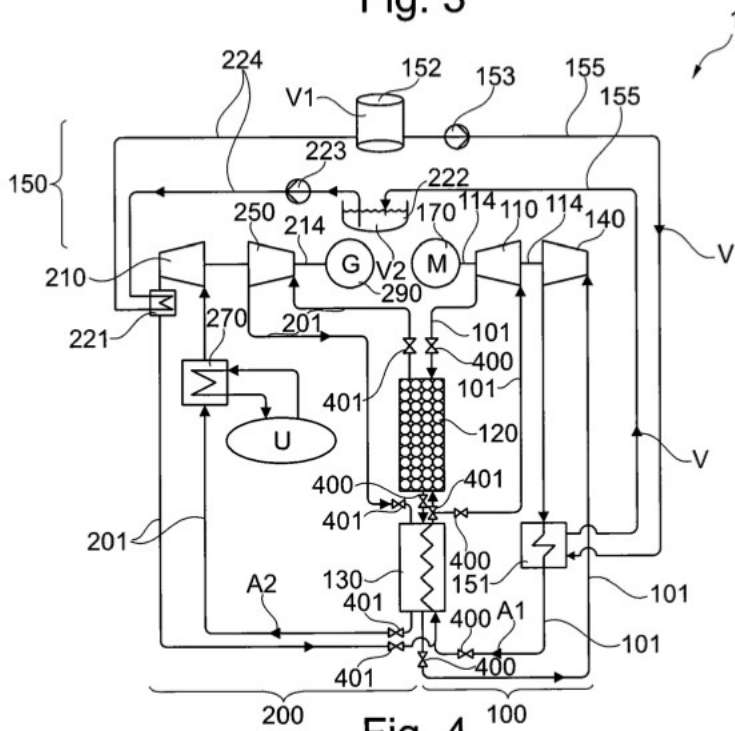


Fig. 4

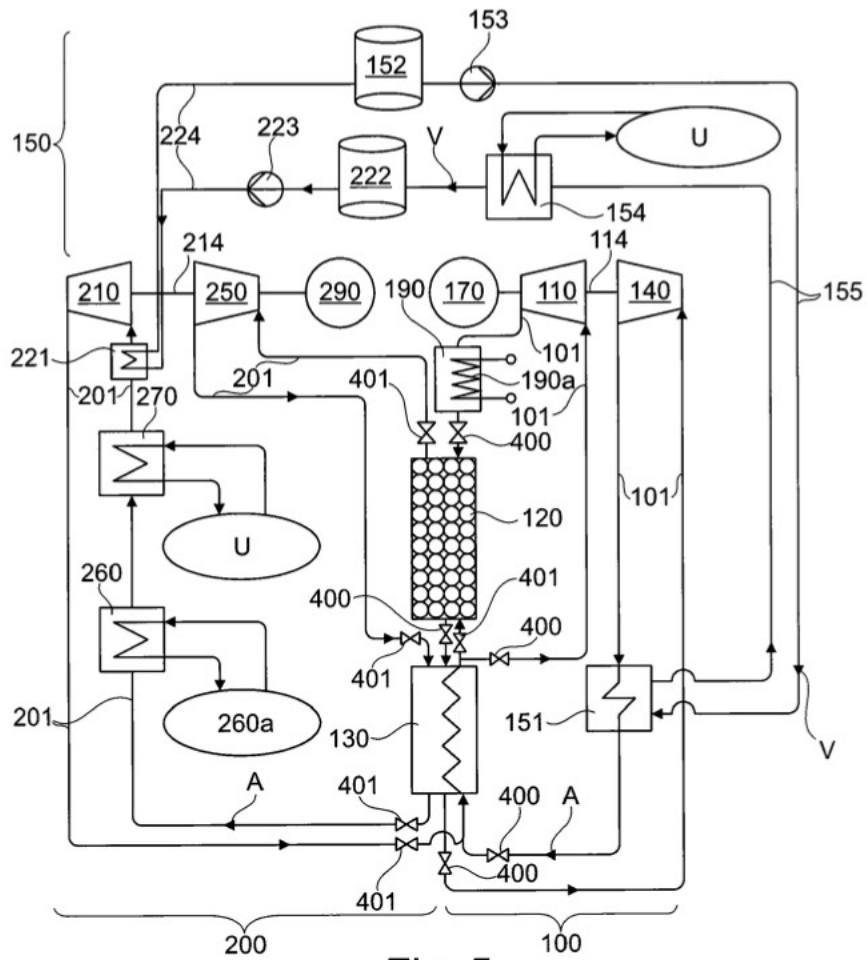


Fig. 5

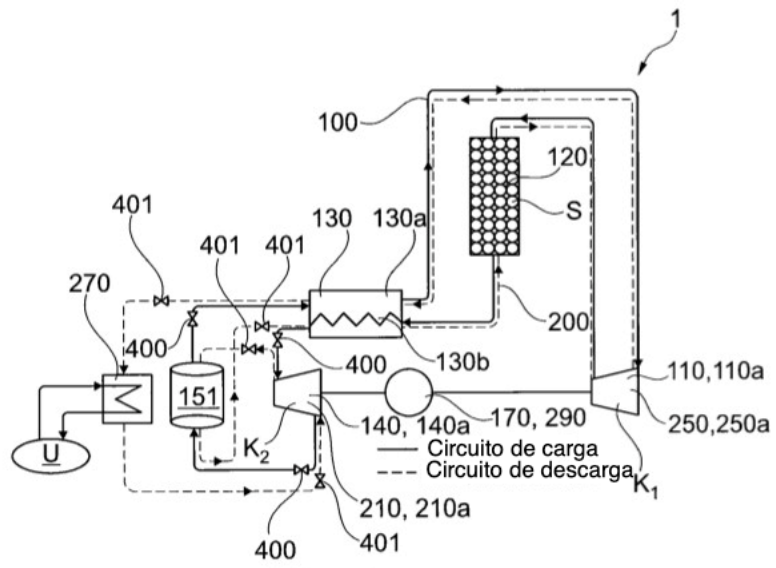


Fig. 6

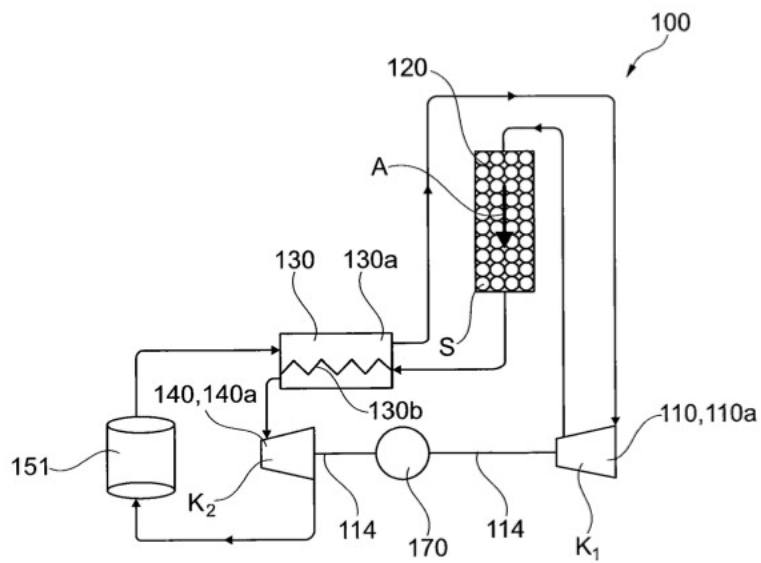


Fig. 7

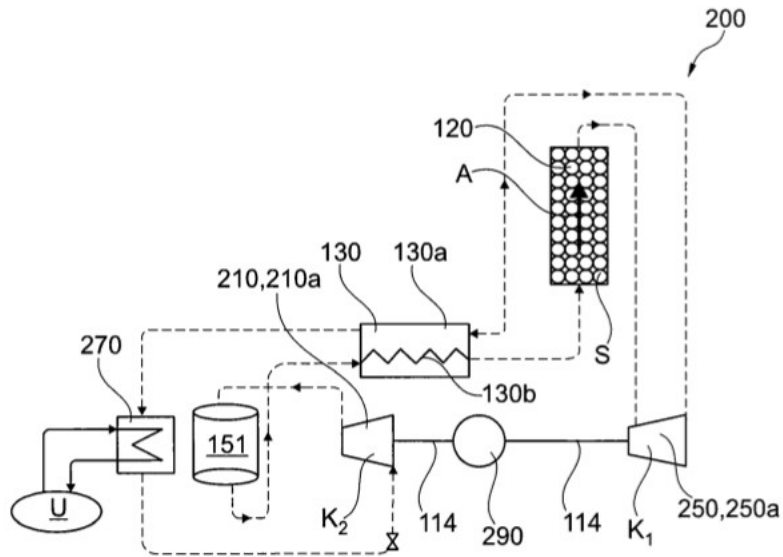


Fig. 8

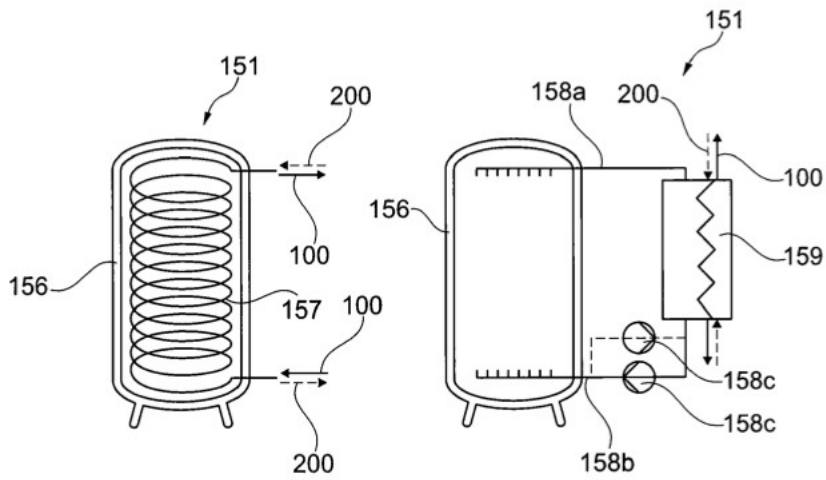
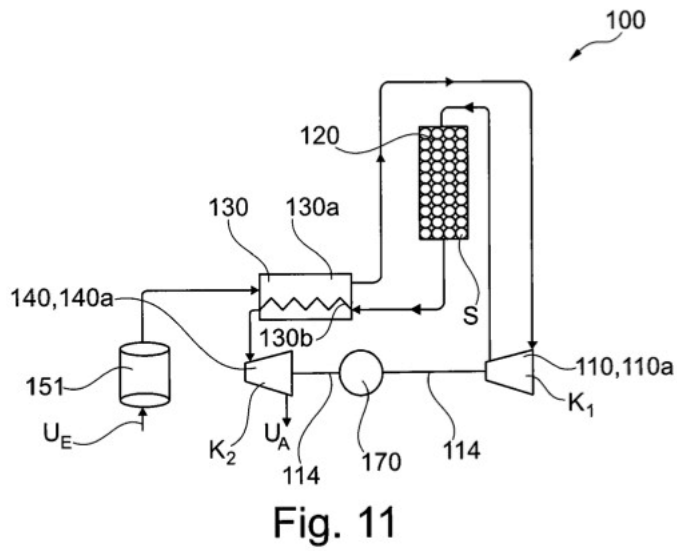
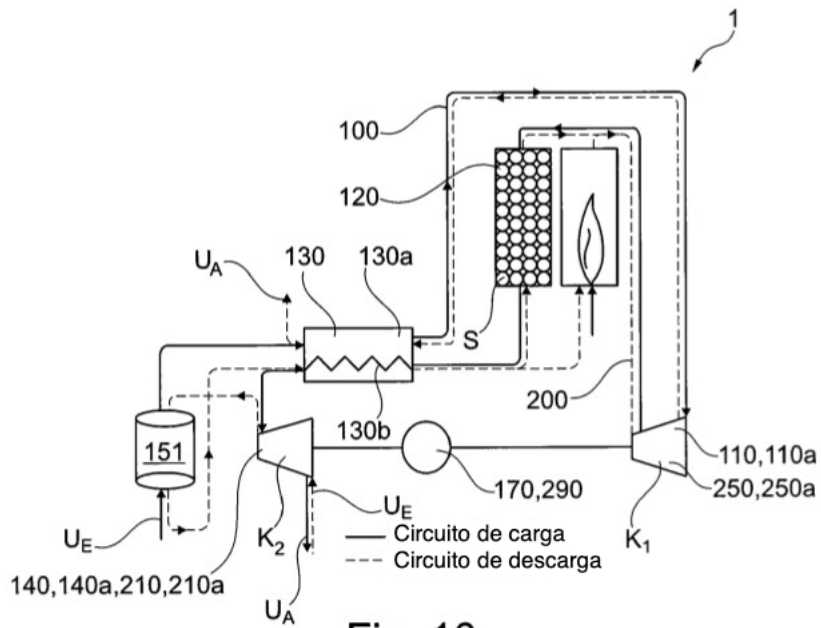


Fig. 9a

Fig. 9b



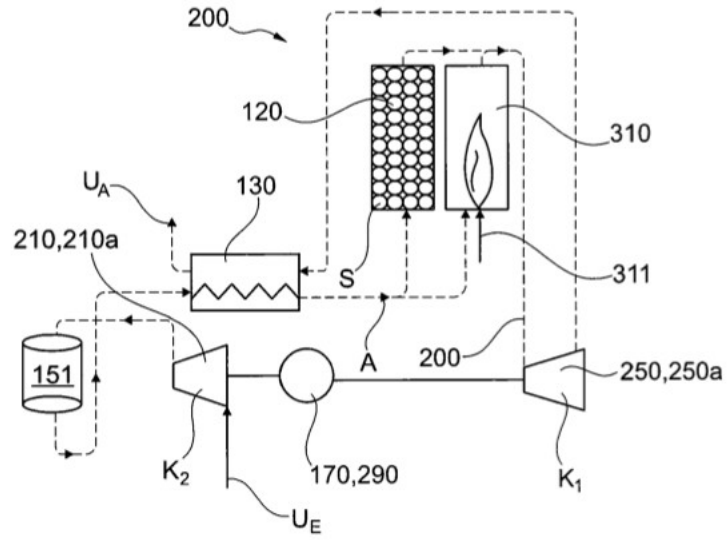


Fig. 12

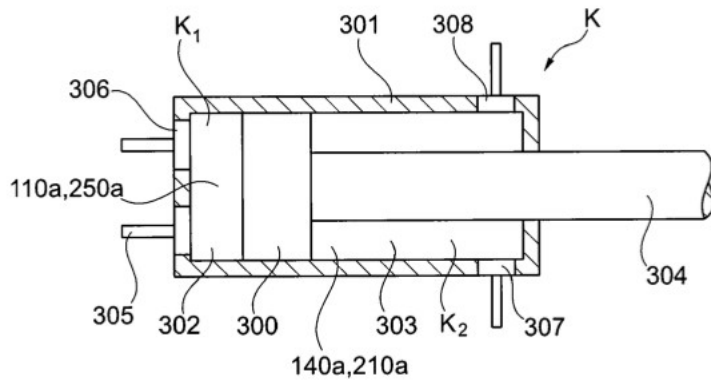


Fig. 13

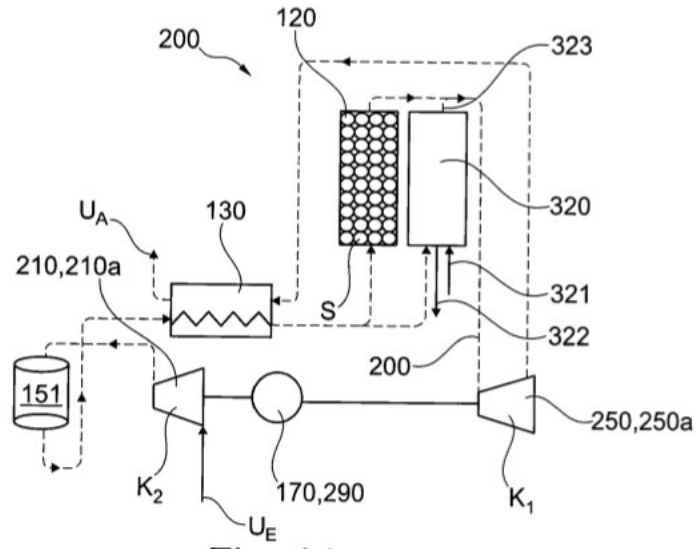


Fig. 14

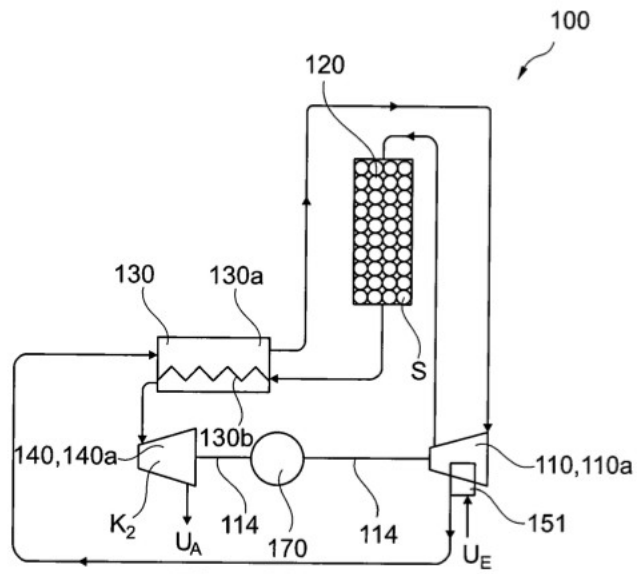


Fig. 15

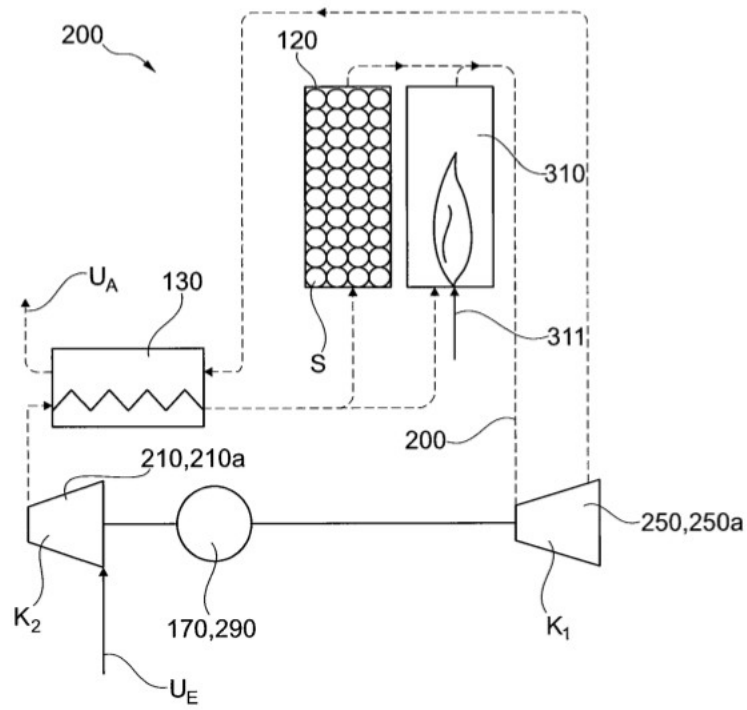


Fig. 16