

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 090**

51 Int. Cl.:

F01K 3/00 (2006.01)
F01K 23/10 (2006.01)
F01K 25/10 (2006.01)
F02C 6/16 (2006.01)
F02C 6/18 (2006.01)
F25J 1/00 (2006.01)
F25J 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2013** **E 13156878 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016** **EP 2634383**

54 Título: **Procedimiento y disposición para el almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

01.03.2012 DE 102012101701
14.05.2012 DE 102012104185
22.05.2012 DE 102012104416

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.10.2016

73 Titular/es:

**INSTITUT FÜR LUFT- UND KÄLTETECHNIK
GEMEINNÜTZIGE GMBH (100.0%)
Bertolt-Brecht-Allee 20
01309 Dresden, DE**

72 Inventor/es:

ARNDT, JULIA, DR.;
GROSSMANN, BJÖRN;
KAISER, GUNTER, DR.;
KLIER, JÜRGEN, DR.;
KUHN, MORITZ;
SCHROEDER, GUNAR y
ZERWECK-TROGISCH, ULRICH, DR.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 585 090 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

Procedimiento y disposición para el almacenamiento de energía

5 La invención se refiere a un procedimiento y una disposición para el almacenamiento de energía en forma de aire licuado, con los que puede almacenarse energía preferentemente eléctrica durante las horas de bajo consumo de una red eléctrica que puede volverse a utilizar en las horas de mayor consumo.

10 Dado que en muchos países, a la hora de generar electricidad la proporción obtenida a partir de energía solar y energía eólica aumenta continuamente, la importancia que adquiere el almacenamiento de energía eléctrica es cada vez mayor. Porque mientras que con las centrales hidroeléctricas (en combinación con embalses) puede generarse energía eléctrica de acuerdo en su mayor parte con las necesidades y con las grandes centrales eléctricas como las centrales de carbón o las centrales nucleares pueden generarse al menos potencias constantes, las centrales eléctricas o centrales eléctricas virtuales que usan energía eólica o solar generan energía eléctrica de manera totalmente independiente de las necesidades. La energía solar se genera regularmente en sentido opuesto a las necesidades de electricidad.

15 Los procedimientos/disposiciones para el almacenamiento de energía conocidos del estado de la técnica como las centrales eléctricas con almacenamiento mediante bombeo, el almacenamiento de aire comprimido y el almacenamiento electroquímico presentan desventajas específicas.

Así, aunque con centrales eléctricas con almacenamiento mediante bombeo pueden conseguirse eficiencias relativamente altas de hasta el 80 %, solo pueden construirse en unos pocos lugares adecuados, con lo que su tamaño queda determinado esencialmente por las condiciones locales (no son escalables).

20 Con los sistemas de almacenamiento electroquímico (baterías) pueden obtenerse unas eficiencias muy elevadas de hasta el 90 % pero, en relación con su capacidad de almacenamiento, son muy costosas y el número de ciclos de funcionamiento alcanzable hasta ahora es relativamente bajo.

Del estado de la técnica se conocen también soluciones en las que se almacena energía eléctrica en forma de aire licuado.

25 Así, en los documentos DE 3139567 A1, US 6.920.759 B2 y WO 2007/096656 A1 se describen procedimientos o disposiciones con los que puede almacenarse energía eléctrica mediante la licuefacción de aire, por ejemplo, por medio del método de Linde, y su almacenamiento en depósitos criogénicos.

30 Sin embargo, con el procedimiento según el documento DE 3139567 A1 solo pueden obtenerse eficiencias totales bajas de aproximadamente el 20 %. Los sistemas descritos en los documentos US 6.920.759 B2 y WO 2007/096656 A1 utilizan almacenamiento de energía en frío, lo que tiene la desventaja de que para alcanzar altas eficiencias deben emplearse cantidades (masas) muy elevadas de material de almacenamiento; en consecuencia, las instalaciones con almacenamiento de energía en frío eficientes son comparativamente muy costosas.

35 Según el documento DE 19527882 A1, se describen varias formas de realización de sistemas de enfriamiento o sistemas que trabajan con aire licuado: según una primera forma de realización, se usa pentano para el enfriamiento del compresor y este calor se emplea para la generación de electricidad, es decir para la recuperación del calor residual. Según una segunda forma de realización, el aire licuado se usa para la propulsión de vehículos y no para mejorar la eficiencia de almacenamiento. Según otra configuración, la energía que se libera en la expansión del aire se usa para el accionamiento de una instalación de climatización. Y en una forma de realización alternativa se describe el principal procedimiento de almacenamiento que puede considerarse como el estado de la técnica.

40 La publicación científica de CHINO Y COL.: "Evaluation of Energy Storage Method Using Liquid Air" describe el procedimiento de almacenamiento por medio de aire licuado ya conocido. Aquí, la licuefacción tiene lugar igualmente por el método de Claude. Solo se indica que para la generación de energía todavía se quema gas natural (LNG), lo que sirve para alcanzar las temperaturas de entrada necesarias para una alta eficiencia del proceso.

45 La invención tiene como objetivo encontrar un procedimiento con el que se pueda almacenar energía y volverla a utilizar de manera relativamente económica y, en ello, sea posible alcanzar un número muy elevado de ciclos de funcionamiento. Con el procedimiento debe ser posible alcanzar eficiencias del 50 % o más. El procedimiento debe poderse realizar con independencia de las condiciones geográficas del lugar de aplicación. La instalación debe ser realizable con una estructura modular relativamente sencilla a partir de componentes individuales disponibles del estado de la técnica

50 El objetivo de la invención se consigue mediante las características de las reivindicaciones 1 y 8. Otras realizaciones ventajosas de la invención resultan de las reivindicaciones 2 a 7 y 9.

El procedimiento para el almacenamiento de energía según la invención se subdivide en dos fases (pasos). En la primera fase, el exceso de energía disponible se convierte en una forma almacenable y se almacena (almacenamiento). En la segunda fase, la energía almacenada se utiliza cuando se necesita energía adicional

(utilización).

5 Para el almacenamiento de energía, preferentemente energía eléctrica, se aspira aire en la entrada (lado de aspiración) de un compresor de una o varias etapas y su presión se eleva a un valor superior al valor de la presión del entorno, el aire se licúa mediante una expansión isoentálpica y finalmente se conduce a un depósito de almacenamiento aislado térmicamente. De este modo, la energía suministrada al compresor se convierte en una forma almacenable, es decir, aire licuado, que puede almacenarse fácilmente en un depósito criogénico.

10 Detrás de la última etapa del compresor (de manera correspondiente, en un compresor de una sola etapa, exclusivamente detrás del mismo), el aire comprimido a la presión final se enfría mediante vapor frío. Para ello, se introduce uno de los lados del intercambiador de calor de contracorriente en la conducción que sirve para el retorno del vapor frío formado durante la licuefacción del aire (hacia el lado de aspiración del compresor) y el otro lado del intercambiador de calor de contracorriente en cuestión (fluídico) se conecta detrás de la última etapa del compresor.

15 Para la licuefacción del medio de almacenamiento de energía se usa el método de Linde-Claude, mediante el cual, después de pasar por el compresor, el aire comprimido se subdivide en dos corrientes parciales y la segunda corriente másica se conduce a través de una turbina de licuefacción-expansión (expansor). La primera corriente másica se enfría en un intercambiador de calor de Claude (normalmente un intercambiador de calor de contracorriente) mediante la segunda corriente másica que sale de la turbina de licuefacción-expansión. La energía obtenida en la turbina de licuefacción-expansión se suministra al compresor, por ejemplo, acoplando la turbina de licuefacción-expansión al compresor a través de un mecanismo de transmisión.

20 Preferentemente, para la licuefacción del aire se emplea un compresor multietapa y detrás de cada etapa del compresor (en cada caso con un refrigerador intermedio) se lleva a cabo un intercambio de calor entre el aire comprimido y el entorno.

25 Para la utilización de la energía, por ejemplo, en los periodos de alta demanda de una red eléctrica, el aire licuado almacenado se transforma en una corriente másica continua con una presión de algunos cientos de bar y una temperatura lo más alta posible y se usa para el accionamiento de una turbina de expansión (turbina principal), a la que se encuentra acoplado, por ejemplo, un generador eléctrico.

30 Para ello, se extrae aire licuado del depósito de almacenamiento y su presión se eleva con una bomba y/o por medio de compresión térmica a una presión de algunos cientos de bar, preferentemente a 200 bar (20 MPa). El aumento de la presión puede tener lugar en principio de forma mecánica, por ejemplo, por medio de una bomba de émbolo, sin embargo, la energía (eléctrica) que aquí se necesita reduce la eficiencia total del procedimiento. Por lo tanto, se prefiere elevar la presión del aire de forma exclusivamente térmica, aumentando la temperatura del aire en un recipiente cerrado durante el tiempo que sea necesario para alcanzar la presión de proceso requerida. A continuación, la temperatura del aire se lleva a la temperatura del entorno o, en caso de que se disponga de una fuente de calor residual, al nivel de temperatura de la fuente de calor residual.

35 Para aumentar la temperatura puede emplearse un intercambiador de calor, por ejemplo, un intercambiador de calor de carcasa y tubos, uno de cuyos lados se pone en contacto para la utilización de la energía con el aire extraído y el otro lado con el nivel de temperatura del entorno (o de una fuente de calor residual). Mediante el uso de una fuente de calor residual, la cantidad de energía específica recuperada del aire licuado aumenta, ya que después de su extracción del depósito de almacenamiento el aire se calienta a una temperatura superior a la temperatura del entorno.

40 Conforme a la invención, la eficiencia de la totalidad del proceso (o de una instalación que trabaja de acuerdo con el procedimiento según la invención) aumenta hasta el 50 % cuando al utilizar la energía, además del uso normal del aire licuado por la turbina principal, el nivel de temperatura (bajo) del aire licuado se usa para la condensación de un refrigerante (cuyo punto de ebullición es normalmente mucho menor que el del agua) en la etapa inferior de un proceso de Rankine de una o varias etapas (proceso de turbinas de vapor). En las etapas o la etapa única de la máquina de Rankine se emplean normalmente sustancias de bajo punto de ebullición como, por ejemplo, nitrógeno, hidrocarburos puros o total o parcialmente halogenados como, por ejemplo, R134a, R600a o refrigerantes naturales como, por ejemplo, agua o dióxido de carbono, o mezclas de las sustancias anteriores. Si se emplean refrigerantes orgánicos, dicho proceso de Rankine es un, así denominado, proceso ORC (**O**rganic **R**ankine **C**ycle).

50 Si el procedimiento se usa para el almacenamiento de energía eléctrica, las etapas individuales de la máquina de Rankine accionan generadores eléctricos por medio de turbinas. La energía eléctrica generada por los generadores eléctricos se alimenta a la red de suministro junto con la energía eléctrica generada por el generador eléctrico de la turbina principal.

55 La disposición para la realización del procedimiento comprende un compresor de una o varias etapas, una turbina de licuefacción-expansión, a través de la que se hace pasar una segunda corriente másica del aire que sale de la última etapa del compresor; al menos un intercambiador de calor de contracorriente que sirve para el intercambio de calor entre la segunda corriente másica que sale de la turbina de licuefacción-expansión y la primera corriente másica, una válvula de expansión, a través de la que la primera corriente másica se expande de forma isoentálpica a una presión de licuefacción, un separador de fases, en el que el aire licuado se separa de la parte gaseosa (vapor frío),

5 un depósito de almacenamiento aislado térmicamente que sirve para el almacenamiento del aire licuado, una unidad de regasificación, diseñada para aumentar la presión del aire licuado extraído del depósito de almacenamiento y llevar la temperatura del aire al menos a la temperatura del entorno, y una turbina que puede accionarse por el aire a presión generado en la unidad de regasificación. En cada etapa del compresor hay conectado un refrigerador intermedio en el que el aire comprimido se enfría prácticamente a la temperatura del entorno después de la compresión.

Conforme con la invención, la disposición presenta además una máquina de Rankine de una o varias etapas que sirve para aumentar la eficiencia total del proceso de almacenamiento y utilización de energía.

10 La etapa inferior de la máquina de Rankine, es decir, la etapa que se encuentra a menor temperatura, está acoplada térmicamente a través de un intercambiador de calor de contracorriente (condensador) al nivel de temperatura del aire licuado (en la extracción de aire, es decir, tan pronto como fluye aire líquido del depósito de almacenamiento), lo que quiere decir que, en la etapa inferior, el frío liberado en la evaporación y calentamiento del aire como medio del proceso se usa para la condensación de un refrigerante, por ejemplo, nitrógeno. Un lado del intercambiador de calor de contracorriente está conectado entre la salida del depósito de almacenamiento y la entrada de la turbina principal y por el otro lado fluye el refrigerante empleado en la etapa inferior de la turbina de Rankine.

15 Cada etapa de la máquina de Rankine (máquina ORC) comprende un regenerador, un condensador, una bomba de refrigerante, un evaporador y una turbina (con un generador conectado).

A continuación, la invención se explicará más detalladamente mediante un ejemplo de realización; para ello se muestran:

20 en la figura 1: el esquema de conexiones de una instalación para el almacenamiento de energía por medio de aire licuado,
 en la figura 2: el diagrama de presión-entalpía del proceso de licuefacción del aire,
 en la figura 3: un relación de los estados termodinámicos del aire durante el proceso de licuefacción y
 25 en la figura 4: el diagrama temperatura-entropía de la regasificación.

La instalación para la licuefacción de aire según el proceso de Linde-Claude representada en la figura 1 consta de un compresor de tres etapas 1, que está ejecutado como un compresor de tornillo y presenta una eficiencia de compresión isoentrópica de aproximadamente el 90 %, un primer intercambiador de calor (de contracorriente) 2 y un segundo intercambiador de calor (de Claude) 3, un turboexpansor de una etapa (turbina de licuefacción-expansión) 4 que presenta una eficiencia de expansión isoentrópica del 90 %, una válvula de estrangulación de Joule-Thomson (válvula de expansión) 5, un separador de fases 6 y un depósito de almacenamiento aislado térmicamente 7, que asegura bajas pérdidas térmicas.

30 En la figura 2 se representa el estado del aire que va a almacenarse en un diagrama de presión-entalpía en cada uno de los sitios (puntos) A-I indicados en la figura 1 (los puntos A-I se refieren exclusivamente al almacenamiento); en la figura 3 se resume en una tabla el estado termodinámico del aire en los puntos A-I.

Para la licuefacción del aire (almacenamiento de energía), en la entrada 1.1 del compresor 1 se aspira aire desecado y purificado del entorno, así como aire retornado del proceso (vapor frío) (punto A), la presión del aire se eleva a una presión final de aproximadamente 8 bar (0,8 MPa) y el aire comprimido se hace pasar por una salida 1.2 (punto B) a través de un intercambiador de calor de contracorriente 2, en el que se enfría con el vapor frío a una temperatura de aproximadamente 143 K (punto C). El compresor 1 dispone de una refrigeración intermedia, es decir, detrás de cada etapa, el aire comprimido se enfría mediante un intercambiador de calor (no representado) a prácticamente la temperatura del entorno (puntos A a B).

Después de recorrer el intercambiador de calor de contracorriente 2, el aire se subdivide en una primera y una segunda corriente másica (la primera corriente másica deberá enfriarse por medio de la segunda corriente másica). La segunda corriente másica se conduce a la entrada 4.1 de la turbina de licuefacción-expansión (expansor) 4.

La parte gaseosa restante del aire que sale del separador de fases 6 (punto E(g)) y la segunda corriente másica que sale de la turbina de licuefacción-expansión 4 (punto I) se mezclan (vapor frío, punto F) y se emplean según se indica anteriormente para el enfriamiento del aire comprimido en los intercambiadores de calor 2, 3, para alcanzar en el punto D una temperatura lo más baja posible.

50 Para el enfriamiento en el punto D, la primera corriente másica se hace pasar por un lado del intercambiador de calor de Claude 3 y el vapor frío por el otro, con lo que la temperatura del aire de la primera corriente másica se reduce de tal manera que el aire primero se licúa totalmente y a continuación se subenfía (punto D).

A continuación, la primera corriente másica se expande isoentálpicamente a través de la válvula de expansión 5. El

5 aire se sigue enfriando (efecto Joule-Thomson) y una gran parte del mismo se mantiene licuado (a pesar de la baja presión) mientras la parte restante es gaseosa (Punto E(g)). En un separador de fases 6, el aire licuado se separa de la parte restante gaseosa y se conduce al depósito aislado térmicamente 7, donde se almacena a la presión del entorno (almacenamiento sin presión) y a una temperatura de aproximadamente 80 K (punto E(f)). La posible duración del almacenamiento queda determinada casi exclusivamente por las pérdidas térmicas del depósito de almacenamiento.

10 La segunda corriente másica no se licúa, sino que se expande politrópicamente del punto C al punto I por medio de la turbina de licuefacción-expansión 4. Al expandirse, la segunda corriente másica produce trabajo mecánico que se transfiere al proceso de compresión, ya que los ejes de la turbina de licuefacción-expansión 4 y del compresor 1 están acoplados entre sí mediante un mecanismo de transmisión (no representado).

15 Para la utilización de la energía, el aire licuado se extrae del depósito de almacenamiento 7, su presión se eleva primeramente a 200 bar (20 MPa) en una zona cerrada (no representada) exclusivamente mediante la aportación de calor y, a continuación, el aire a presión así generado se lleva a la temperatura del entorno (aproximadamente 300 K) o dado el caso a la temperatura de una fuente de calor residual (aumento de la eficiencia total), al hacer pasar el aire siguiendo el principio de contracorriente por un lado de un primer intercambiador de calor de Rankine 8 de una máquina de Rankine de dos etapas 9, cuya etapa primera/inferior 10 se opera con nitrógeno (como refrigerante) y cuya segunda etapa 11 se opera con un refrigerante de bajo punto de ebullición. El primer intercambiador de calor de Rankine 8 está en contacto con el nitrógeno de la primera etapa 10 de la máquina de Rankine 9, que se opera al nivel de temperatura más bajo.

20 El aire a presión se expande desde 200 bar (20 MPa) hasta 1 bar (0,1 MPa) en una turbina principal 12 con un generador eléctrico conectado 13. Para aumentar la eficiencia del proceso de expansión, el turboexpansor cuenta con seis etapas y dispone de un sistema de calentamiento intermedio (no representado) después de cada etapa de expansión. Con la ejecución del turboexpansor con seis etapas se asegura que la temperatura del aire expandido no sea inferior a 230 K. La figura 4 muestra el correspondiente diagrama de entropía-temperatura (utilización de energía/ regasificación).

25 Las dos etapas 10, 11 de la máquina de Rankine 9 usan respectivamente dos intercambiadores de calor 8, 15, 16, en lo que, en cada caso, uno de los intercambiadores de calor sirve para el acoplamiento a un nivel de temperatura inferior y el otro intercambiador de calor para el acoplamiento a un nivel de temperatura superior. Así, el segundo intercambiador de calor de Rankine 16 sirve para el acoplamiento de las dos etapas 10, 11 de la máquina de Rankine 9 entre sí, ya que el nivel de temperatura superior de la primera etapa 10 equivale aproximadamente al nivel de temperatura inferior de la segunda etapa 11. El tercer intercambiador de calor de Rankine 15 está en contacto con la temperatura del entorno, que equivale al nivel de temperatura superior de la segunda etapa 11. También puede considerarse el acoplamiento en cascada de más de dos etapas.

30 En cada caso, las etapas de la máquina de Rankine se ejecutan cerradas, es decir, la salida del intercambiador de calor en el nivel de temperatura superior está conectada con la entrada del intercambiador de calor del nivel de temperatura inferior, respectivamente, a través de una turbina de expansión 14 en la que se produce trabajo de expansión. La salida del intercambiador de calor en el nivel de temperatura inferior está conectada en cada caso con la entrada 17.1 de una bomba de condensado 17 que sirve para el transporte de retorno del refrigerante y la entrada del intercambiador de calor del nivel de temperatura superior está conectada con la salida 17.2 de la bomba de condensado 17.

35 Cada una de las turbinas de expansión 14 está acoplada a un generador eléctrico 18. Para la utilización de la energía se vuelve a alimentar a la red de suministro tanto la energía eléctrica de los generadores 18 de la máquina de Rankine como la del generador 13 accionado por la turbina principal 12.

Lista de los números de referencia utilizados

- 45
- 1 Compresor
 - 1.1 Entrada del compresor
 - 1.2 Salida del compresor
 - 2 Intercambiador de calor de contracorriente
 - 3 Intercambiador de calor de Claude
 - 4 Turbina de licuefacción-expansión/turboexpansor
 - 4.1 Entrada de la turbina de licuefacción-expansión
 - 4.2 Salida de la turbina de licuefacción-expansión
 - 5 Válvula de expansión/válvula de estrangulamiento de Joule-Thomson
 - 6 Separador de fases
 - 7 Depósito de almacenamiento
 - 8 Primer intercambiador de calor de Rankine
 - 9 Máquina de Rankine

- 10 Primera etapa de la máquina de Rankine
- 11 Segunda etapa de la máquina de Rankine
- 12 Turbina principal
- 13 Generador eléctrico de la turbina principal
- 14 Turbina de expansión
- 15 Tercer intercambiador de calor de Rankine
- 16 Segundo intercambiador de calor de Rankine
- 17 Bomba de condensado
- 17.1 Entrada de la bomba de condensado
- 17.2 Salida de la bomba de condensado
- 18 Generador eléctrico de la máquina de Rankine

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el almacenamiento de energía que comprende

5 - un paso de almacenamiento de energía, en el que en la entrada (1.1) de un condensador de una o varias etapas (1) se aspira aire, cuya presión se eleva hasta un valor superior a la presión del entorno, el aire se licúa mediante una expansión isoentálpica y se conduce a un depósito de almacenamiento (7) aislado térmicamente, en que el vapor frío del aire generado en el proceso de licuefacción del aire se retorna a la entrada (1.1) del compresor (1) a través de al menos un intercambiador de calor de contracorriente (2) que permite un intercambio de calor del aire comprimido con el vapor frío detrás de la al menos una etapa del compresor (1), en que el aire comprimido se subdivide en dos corrientes parciales después del intercambiador de calor de contracorriente (2), la segunda corriente másica se hace pasar a través de una turbina de licuefacción-expansión (4) y la energía obtenida en la turbina de licuefacción-expansión (4) se suministra al compresor (1), en que la primera corriente másica se enfría en un intercambiador de calor de Claude (3) mediante la segunda corriente másica que sale de la turbina de licuefacción-expansión (4) y el vapor frío restante generado por el proceso de licuefacción del aire, 10 - y un paso de utilización de la energía, en el que se extrae el aire licuado del depósito de almacenamiento (7) y se regasifica, elevando la presión del aire mediante una bomba y/o mediante compresión térmica y elevando a continuación la temperatura del aire hasta al menos la temperatura del entorno, en que con el aire comprimido así generado se acciona una turbina principal (12), **caracterizado porque** además, el nivel de temperatura del aire licuado extraído del depósito de almacenamiento se usa para la condensación de un refrigerante de bajo punto de ebullición en la etapa inferior de un proceso de Rankine de una o varias etapas, en que la energía generada en el proceso de Rankine se añade a la energía generada en la turbina principal (12).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el refrigerante usado en la etapa inferior del proceso de Rankine de una o varias etapas presenta un punto de ebullición menor que el del agua.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado porque** en la etapa inferior del proceso de Rankine se emplea nitrógeno como refrigerante. 25

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** como refrigerante en el proceso de Rankine de una o varias etapas se emplea nitrógeno, hidrocarburos puros o total o parcialmente halogenados, refrigerantes naturales y/o mezclas de estas sustancias.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** como proceso de Rankine de una o varias etapas se emplea un proceso ORC. 30

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** para la licuefacción del aire se emplea un compresor multietapa, en que para el enfriamiento del aire comprimido detrás de cada etapa del compresor se lleva a cabo un intercambio de calor entre el aire comprimido y el entorno.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** en el paso de la utilización de la energía, el aire se calienta a una temperatura superior a la del entorno mediante el uso de una fuente de calor residual. 35

8. Disposición para la realización del procedimiento según la reivindicación 1 con un compresor de una o varias etapas con enfriamiento intermedio (1), en que a la última etapa del compresor se conecta un intercambiador de calor de contracorriente (2), uno de cuyos lados puede ser atravesado por el aire comprimido y cuyo otro lado puede ser atravesado por vapor frío; una turbina de licuefacción-expansión (4) a través de la que puede hacerse pasar una segunda corriente másica del aire que sale del intercambiador de calor de contracorriente (2); un intercambiador de calor de Claude (3) que sirve para el intercambio de calor entre la segunda corriente másica que sale de la turbina de licuefacción-expansión (4) así como el vapor frío restante generado durante el proceso de licuefacción y la primera corriente másica; una válvula de expansión (5) mediante la que la primera corriente másica puede expandirse isoentálpicamente a una presión de licuefacción; un separador de fases (6) en el que puede separarse el aire licuado del aire gaseoso; un depósito de almacenamiento aislado térmicamente (7) que sirve para el almacenamiento del aire licuado; una unidad de regasificación, que está diseñada para elevar la presión del aire licuado extraído del depósito de almacenamiento (7) y llevar la temperatura del aire hasta al menos la temperatura del entorno; una turbina principal (12) que puede accionarse mediante el aire comprimido generado en la unidad de regasificación, en que la disposición comprende una máquina de Rankine de una o varias etapas (9) que sirve para la realización del proceso de Rankine, en que la etapa inferior de la máquina de Rankine (9) está acoplada térmicamente a la unidad de regasificación por medio de un intercambiador de calor de contracorriente, uno de cuyos lados está conectado entre la salida del depósito de almacenamiento y la entrada de la turbina principal (9) y cuyo otro lado puede ser atravesado por el refrigerante empleado en la máquina de Rankine. 40 45 50

9. Disposición según la reivindicación 8, **caracterizada porque** el compresor (1) está accionado eléctricamente y tanto la turbina principal (12) como la turbina de Rankine (14) están acopladas respectivamente a un generador eléctrico (13, 18), con lo que la disposición es adecuada para el almacenamiento de energía eléctrica. 55

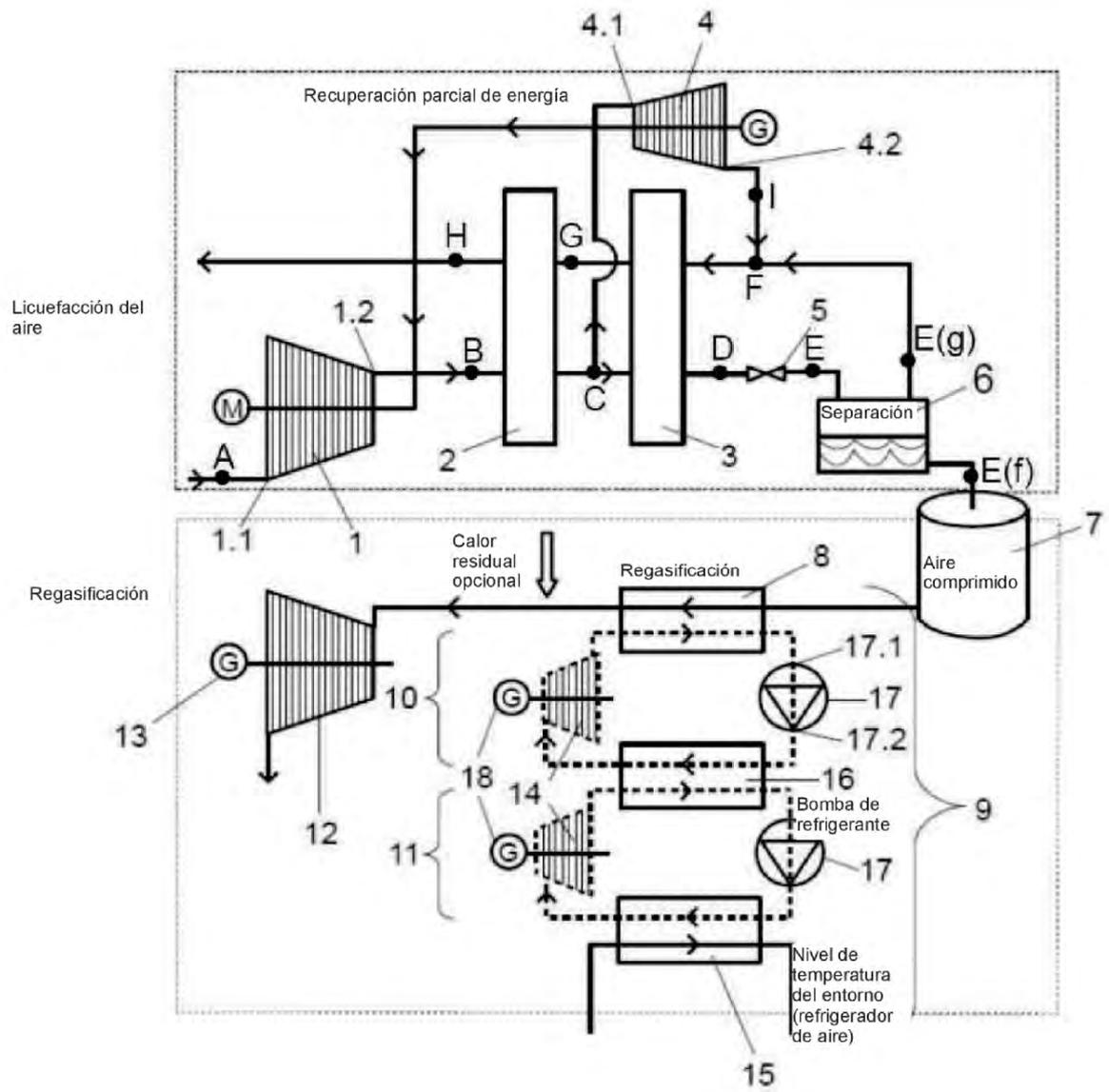


Fig. 1

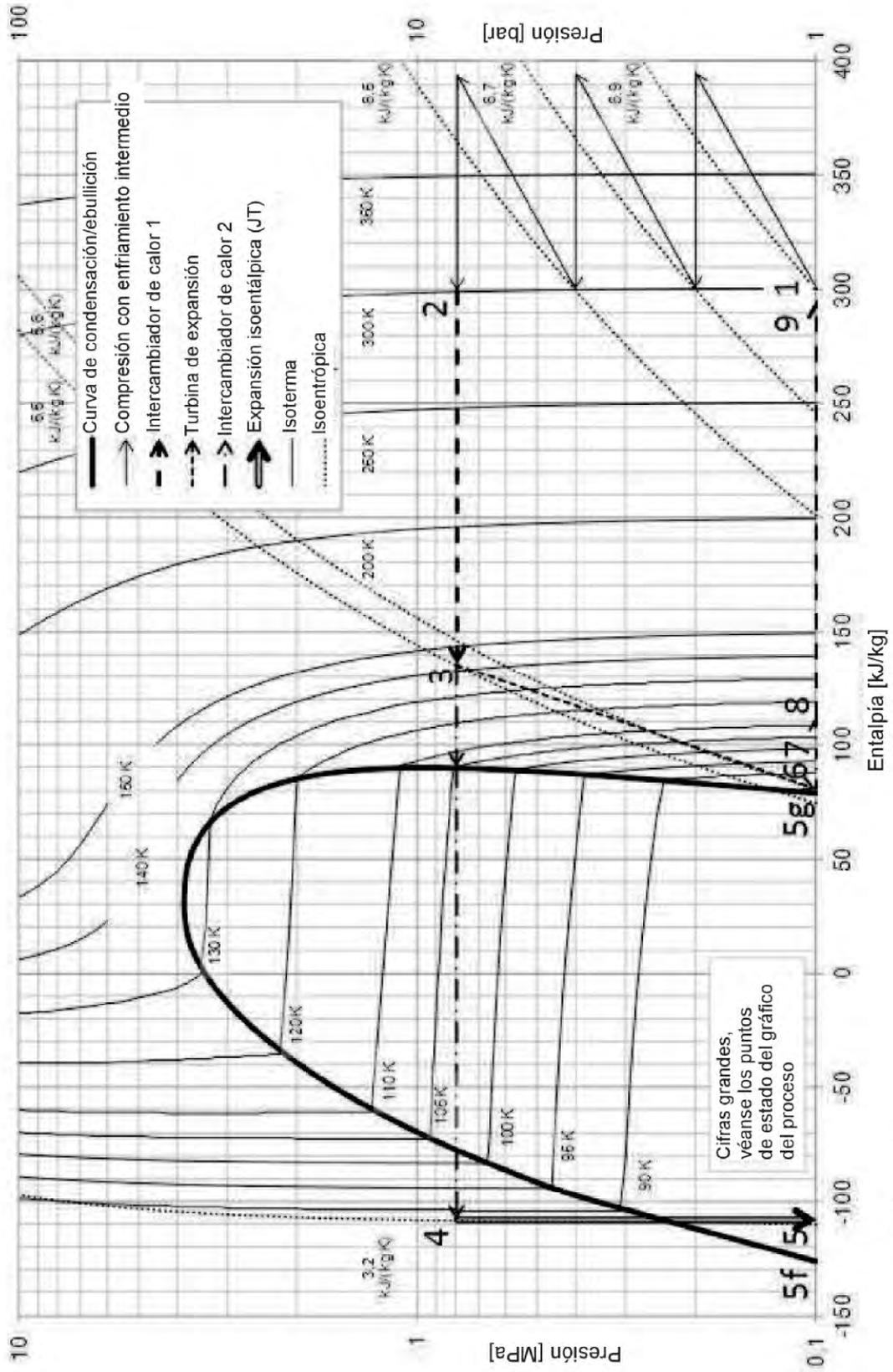


Fig. 2

Punto	Presión [bar]	Temperatura [K]	Entalpía [kJ/kg]	Estado	Relación de masas Corriente parcial/corriente total
1 (Entrada)	1	300,0	300,3	supercrítico	1
1. Etapa de compresión	2	373,0	373,9	supercrítico	1
Enfriamiento	2	300,0	300,1	supercrítico	1
2. Etapa de compresión	4	373,0	373,5	supercrítico	1
Enfriamiento	4	300,0	299,6	supercrítico	1
3. Etapa de compresión	8	372,8	372,8	supercrítico	1
2	8	300,0	298,7	supercrítico	1
3	8	142,7	135,4	supercrítico	1
4	8	87,8	-108,4	líquido subenfriado	0,068
5f	1	78,8	-126,5	líquido en estado saturado	0,062
5	1	78,9	-108,4	zona de 2 fases proporción de vapor 9 %	0,116
5g	1	81,6	79,0	vapor en estado saturado	0,006
6s	1	81,5	75,0		
6	1	83,4	80,8	vapor sobrecalentado	0,883
7	1	83,3	80,8	vapor sobrecalentado	0,894
8	1	113,9	112,5	vapor sobrecalentado	0,894
9 (Salida)	1	295,0	295,3	estado supercrítico	0,894

Fig. 3

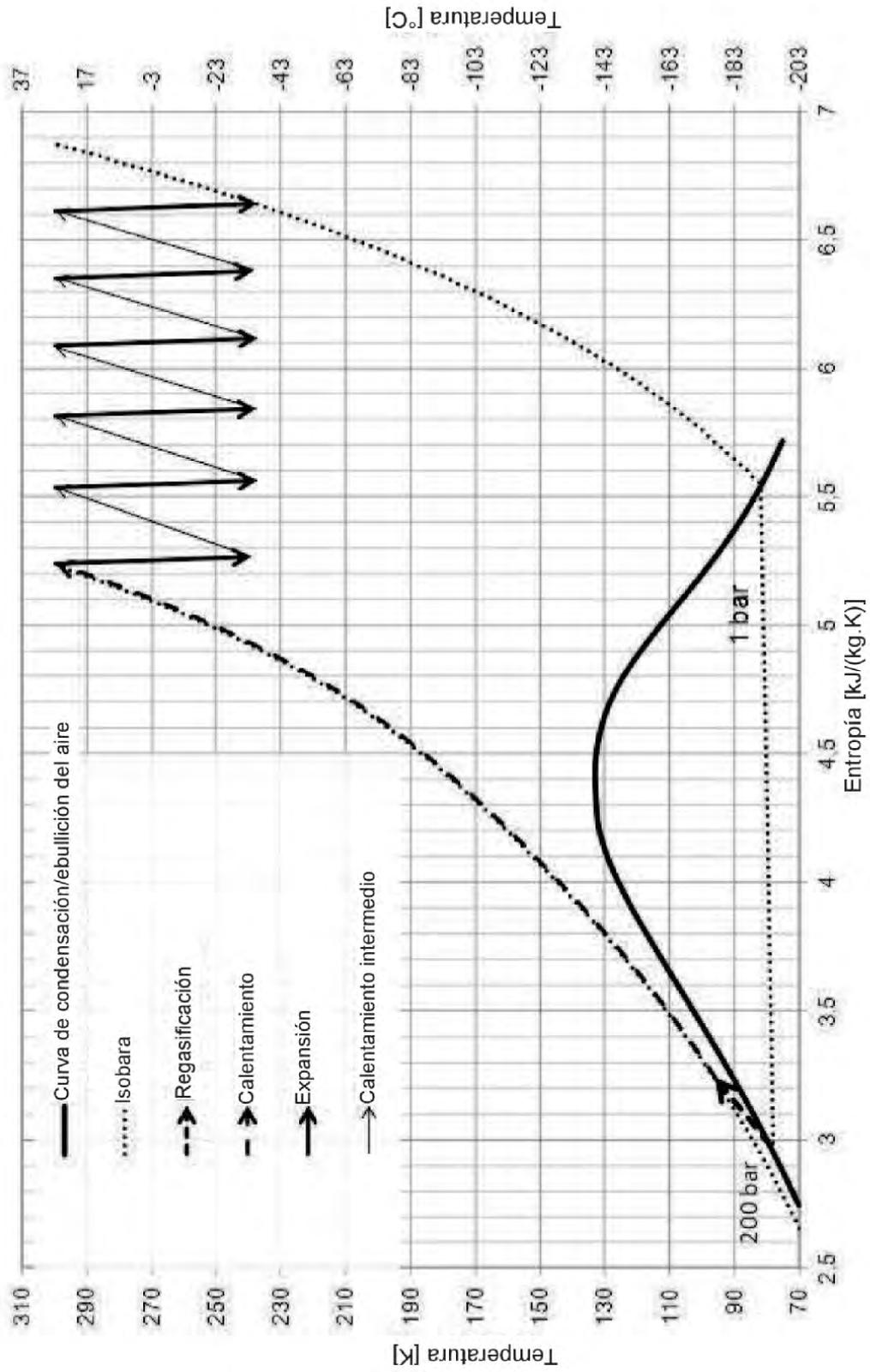


Fig. 4