

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 964 110**

51 Int. Cl.:

F01K 25/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.05.2019 PCT/EP2019/063138**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.11.2019 WO19224209**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2019 E 19726369 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2023 EP 3797218**

54 Título: **Sistema de absorción de ciclo cerrado y procedimiento para enfriar y generar potencia**

30 Prioridad:

23.05.2018 BE 201805328

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

04.04.2024

73 Titular/es:

**GIOS, BART (100.0%)
G. Vandenheuvelstraat 121
2230 Ramsel, BE**

72 Inventor/es:

GIOS, BART

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 964 110 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de absorción de ciclo cerrado y procedimiento para enfriar y generar potencia

Sector de la técnica

5 La presente invención se refiere a procedimientos para convertir energía térmica en energía mecánica y/o a procedimientos de enfriamiento, procedimientos que emplean sistemas de absorción de ciclo cerrado. Además, la presente invención se refiere además a sistemas de absorción de ciclo cerrado como tales.

Antecedentes

Los sistemas de absorción de ciclo cerrado son conocidos en el campo de la generación de potencia y enfriamiento.

10 El documento WO 2012 128 715 A1 describe un sistema de absorción de ciclo cerrado para convertir energía térmica en energía mecánica. De este modo, la energía térmica procede de una fuente de calor de baja temperatura, que tiene una temperatura máxima de alrededor de 150 °C. La actividad geotérmica, la energía solar, las aguas residuales industriales y diversos tipos de procesos de combustión se consideran fuentes adecuadas de calor a baja temperatura. En una primera etapa del ciclo, se expande una cantidad del fluido de trabajo CO₂ gaseoso a través de una turbina, de manera que se pueda extraer energía mecánica. Posteriormente, el gas de trabajo es absorbido químicamente por un fluido de absorción, típicamente una amina. A continuación, se presuriza la mezcla absorbente de gas. En una última etapa del ciclo, la mezcla se separa nuevamente mediante evaporación en el fluido de trabajo gaseoso CO₂, por un lado, y el fluido de absorción líquido de amina, por otro lado. Con este fin, el sistema está provisto de un evaporador para transferir energía térmica desde la fuente de calor de baja temperatura a la mezcla absorbente de gas.

20 Un aspecto típico de los sistemas de absorción de ciclo cerrado es que el fluido de trabajo tiene una presión de vapor más alta que el fluido de absorción. Como consecuencia, se puede separar de dicha mezcla una fase gaseosa que tiene una mayor concentración del fluido de trabajo y una menor concentración de fluido de absorción, en comparación con la mezcla líquida presurizada, al calentar la mezcla hasta su punto de ebullición. Posteriormente, la fase gaseosa presurizada se expande a través de la máquina de expansión, por ejemplo, en aras de generar potencia. Por lo tanto, el evaporador tiene típicamente, además de su función de evaporación, una función de separación basada en la destilación.

El documento US 2 291 232 A divulga un sistema de absorción de ciclo cerrado parecido, que presenta un fluido de trabajo de amoníaco y un fluido de absorción de agua. Nuevamente, la mezcla de fluido de absorción y fluido de trabajo que sale del absorbente se presuriza y posteriormente se separa mediante un evaporador.

30 Después de su paso a través del evaporador, la mezcla líquida, que tiene una concentración de fluido de absorción aumentada y una concentración del fluido de trabajo disminuida, típicamente se descarga de nuevo al absorbente. Sin embargo, dado que esta mezcla se ha calentado, para aumentar la presión de vapor del fluido de trabajo, contiene mucha energía térmica. Esta energía térmica se pierde en el ciclo. En la mayoría de los casos, el absorbente está provisto de un intercambiador de calor, para drenar este calor a alguna fuente fría, junto con cualquier calor adicional que se produzca en la reacción de absorción. Al reducir la temperatura en el absorbente, la presión de vapor del fluido de trabajo se reduce igualmente, lo que convenientemente produce la absorción del fluido de trabajo en la mezcla líquida. Un principal inconveniente de las técnicas de separación por evaporación basadas en la destilación es que requieren grandes cantidades de energía térmica. En particular, es necesario calentar la mezcla del fluido de trabajo y fluido de absorción en su totalidad, para crear una fase gaseosa con una alta concentración del fluido de trabajo. Como consecuencia, el calor no se aprovecha eficazmente.

40 Otro inconveniente más es que las técnicas de separación por evaporación basadas en la destilación no necesariamente producen un fluido de trabajo gaseoso de alta pureza. Esta última pureza depende, entre otras cosas, de la diferencia en la presión de vapor parcial del fluido de trabajo y del fluido de absorción, así como de su concentración en la mezcla líquida dentro del evaporador. En particular, la presión de vapor parcial del fluido de trabajo disminuye con concentraciones cada vez menores del fluido de trabajo en la mezcla líquida. Cuanto menos pura sea dicha mezcla en el fluido de trabajo, mayor será la temperatura a la que deberá calentarse dicha mezcla líquida, para obtener valores parecidos de la presión parcial de vapor del fluido de trabajo. Esto hace que el ciclo sea aún menos eficaz. Otro inconveniente resultante de esto es que es adecuada una variedad menor de fuentes de calor; se requiere una temperatura mínima, concretamente, el punto de ebullición de la mezcla anterior. Un problema relacionado con esto surge durante el proceso de expansión: dado que el fluido de absorción tiene una presión de vapor parcial significativamente menor que el fluido de trabajo, el fluido de absorción se condensará primero. La formación de cantidades incluso moderadas de fluido de absorción de líquido, durante el proceso de expansión, tiene un impacto muy negativo en la expansión del fluido de trabajo y, por tanto, en la eficacia global del sistema y del procedimiento. Para impedir esta condensación de nuevo se requiere una temperatura mínima para la fuente de calor, de modo que es adecuada una variedad más pequeña de fuentes de calor.

5 El documento WO 2013 088 160 A2 (WO '160) divulga un procedimiento para absorber calor para su posterior reutilización desde una fuente térmica que comprende: pasar una corriente a alta presión de un fluido de trabajo a través o cerca de la fuente térmica para absorber calor de la fuente térmica, lo que produce una corriente de temperatura más alta que comprende un componente líquido y un componente de vapor; y separar el componente de vapor del componente líquido; en el que el fluido de trabajo comprende un lubricante (p. ej., EMKARATE RL 32H), en el que se disuelve un refrigerante natural (p. ej., dióxido de carbono). La fuente térmica puede tener una temperatura no superior a 150 °C y opcionalmente 40 °C o más.

10 El documento WO 2010 133 726 A1 (WO '726) divulga un ciclo higroscópico. El ciclo higroscópico es un ciclo de potencia que funciona con vapor y compuestos higroscópicos. Estos compuestos absorben vapor a baja presión y temperatura que se ha expandido en una turbina y desorbido en un generador en las condiciones de funcionamiento requeridas. En un absorbente, se utiliza la entalpía del vapor y se aumenta en el generador con el suministro de calor. Una turbina puede funcionar con vacíos altos y temperaturas de enfriamiento superiores a la temperatura de salida del vapor en la turbina. El sistema comprende los equipos principales siguientes: absorbente, bomba de disolución, 15 bomba de condensación, medio de recuperación de calor, desgasificador térmico, generador de vapor, separador de vapor, válvula de expansión, enfriador de aire o torre de enfriamiento, sobrecalentador, turbina de vapor y, opcionalmente, turbina hidráulica, sistema de ósmosis inversa y máquina de absorción/adsorción.

Los documentos WO '160 y WO '726 no solucionan los inconvenientes y desventajas mencionados anteriormente.

20 En consecuencia, existe una necesidad en la técnica de sistemas y procedimientos de ciclo cerrado que separen el fluido de trabajo del fluido de absorción de una manera más eficaz. La presente invención pretende resolver por lo menos algunos de los problemas mencionados anteriormente.

Compendio de la invención

25 En un primer aspecto, la presente invención divulga un procedimiento según la reivindicación 1, para convertir energía térmica en energía mecánica, y/o para enfriar, mediante un sistema de absorción de ciclo cerrado. En particular, la mezcla de absorción presurizada se separa dentro de un separador en un efluente de trabajo y un efluente de absorción. Durante dicha separación, la mezcla de absorción se somete a una presión igual o superior a la presión de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro, y/o a una temperatura igual o inferior a la temperatura de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro.

30 El autor de la invención encontró que, al alcanzar o atravesar el punto de condensación del fluido de trabajo puro, provocado por el aumento de presión del separador y/o por la disminución de temperatura del separador, la mezcla de absorción homogénea se convierte en una mezcla heterogénea que comprende una fase de absorción y una fase de trabajo. En la última mezcla, la fase de absorción se puede separar de la fase de trabajo, basándose en propiedades físicas específicas de la fase (p. ej., basándose en una diferencia en el peso específico de las fases). Por tanto, es sencillo realizar por lo menos una separación preliminar o parcial de la mezcla de absorción líquida, separando un efluente de trabajo de dicha mezcla, sin necesidad de calentar dicha mezcla.

35 Por lo tanto, se necesita menos energía que en el caso de los procesos de separación térmica convencionales, como la destilación. El efluente de trabajo se enriquece en el fluido de trabajo y se alimenta al evaporador. Como tal, el contenido del evaporador tiene una concentración del fluido de trabajo mayor que la que habría sido el caso si se hubiera alimentado directamente con la mezcla de absorción. En el presente procedimiento, el evaporador tiene como máximo una función de separación complementaria y/o final, además de su función de evaporación principal.

40 Además, varias ventajas están relacionadas con que el contenido del evaporador tenga una mayor concentración del fluido de trabajo, sin necesidad de calentar el contenido del fluido de absorción. En primer lugar, se pierde menos energía térmica al generar cantidades iguales del fluido de trabajo gaseoso. De hecho, el contenido del evaporador ahora tiene un punto de ebullición más bajo, de modo que solo es necesario llevarlo a una temperatura más baja para que hierva. Como tal, el presente procedimiento es aplicable a una gama más amplia de fuentes de calor, en particular 45 aquellas que tienen una temperatura más baja. En segundo lugar, se pierde menos energía térmica para calentar el fluido de absorción en el evaporador, ya que el contenido del evaporador ahora tiene una concentración de fluido de absorción más baja. En tercer lugar, cualquier función de separación adicional del evaporador, si corresponde, producirá una fase gaseosa más pura, con una mayor concentración del fluido de trabajo. Esto se debe a que, para empezar, el contenido del evaporador en sí mismo ya tiene una mayor concentración del fluido de trabajo.

50 En un segundo aspecto, la invención divulga un sistema de absorción de ciclo cerrado según la reivindicación 8, para convertir energía térmica en energía mecánica y/o para enfriar.

Descripción de las figuras

La figura 1 ofrece una representación esquemática de un sistema de absorción de ciclo cerrado según una realización de la invención.

55 La figura 2 ofrece una representación esquemática de un sistema de absorción de ciclo cerrado según otra realización de la invención.

La figura 3 ofrece una representación esquemática de un sistema de absorción de ciclo cerrado según otra realización más de la invención.

Descripción detallada de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para convertir energía térmica en energía mecánica, y/o para enfriar, mediante un sistema de absorción de ciclo cerrado, y un sistema de absorción de ciclo cerrado como tal.

A menos que se definan de otro modo, todos los términos usados en la divulgación de la invención, incluidos los términos técnicos y científicos, tienen el significado que habitualmente entiende una persona con experiencia ordinaria en la materia a la que pertenece la presente invención. Como medio de información adicional, se incluyen definiciones de los términos para apreciar mejor las enseñanzas de la presente invención.

10 Como se emplean en esta memoria, los siguientes términos tienen los siguientes significados:

Las formas "un", "una" y "el/la" tal como se usan en la presente memoria hacen referencia tanto a los referentes en plural como en singular, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

15 "Alrededor de" y "aproximadamente", tal como se usa en la presente memoria en referencia a un valor medible tal como un parámetro, una cantidad, una duración temporal y similares, pretende abarcar variaciones de +/-20 % o menos, preferiblemente +/-10 % o menos, más preferiblemente +/-5 % o menos, incluso más preferiblemente +/-1 % o menos, y aún más preferiblemente +/-0,1 % o menos de y del valor especificado, hasta la fecha dichas variaciones son apropiadas para realizar en la invención divulgada. Sin embargo, se ha de entender que el valor al cual se refiere el modificador "alrededor de", también se divulga específicamente en sí mismo.

20 "Comprender", "comprendiendo", "comprende" y "comprendido", tal como se usan en la presente memoria, son sinónimos de "incluir", "incluyendo", "incluye" o "contener", "conteniendo", "contiene" y son términos inclusivos o abiertos que especifican la presencia de lo que sigue, p. ej., un componente, y no excluyen ni descartan la presencia de componentes, rasgos característicos, elementos, miembros, etapas adicionales, no mencionados, conocidos en la técnica o divulgados en la misma.

25 "Separación" y términos asociados, como se usan en la presente memoria, en general se refieren al proceso de separar un volumen y/o corriente que comprende uno o más componentes de un volumen y/o corriente principal que comprende esos componentes, y por lo menos un componente adicional. Al hacerlo, el volumen/corriente separado se enriquece en el/los componente(s) anterior(es); es decir, el componente/componentes anteriores son más abundantes en el volumen/corriente separado que en el volumen/corriente principal. En una posible realización, se emplea un proceso de separación para dividir una mezcla de absorción (que comprende un fluido de trabajo y un fluido de absorción) en un efluente de trabajo y un efluente de absorción, con lo cual el efluente de trabajo se enriquece en el fluido de trabajo y con lo cual el efluente de absorción se enriquece en el fluido de absorción. Un "separador", como se usa en la presente memoria, debería entenderse como un aparato o sistema que está configurado para realizar un proceso de separación como se introdujo anteriormente.

35 La "separación por gravedad" se especifica además porque por lo menos una de las fuerzas motrices es la gravedad. La "separación centrífuga" se especifica además porque por lo menos una de las fuerzas motrices es la fuerza centrífuga (asociada a un marco de referencia giratorio no inercial aplicable). Tanto en la separación por gravedad como en la separación centrífuga, la separación se basa en una diferencia en el peso específico (promedio) de los volúmenes/corrientes separados.

40 La indicación de intervalos numéricos con puntos finales incluye todos los números y fracciones incluidos dentro de ese intervalo, así como los puntos finales indicados. A lo largo de la presente memoria, los valores de concentración de fluido siempre se refieren a fracciones de masa y/o concentraciones de masa.

En un primer aspecto, la presente invención divulga un procedimiento para convertir energía térmica en energía mecánica, y/o para enfriar, mediante un sistema de absorción de ciclo cerrado, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

45 - transferir energía térmica desde una fuente de calor a una mezcla de trabajo líquida, dentro de un evaporador, mezcla de trabajo que comprende por lo menos un fluido de trabajo, y con lo cual dicho fluido de trabajo se evapora por lo menos parcialmente de dicha mezcla de trabajo,

- expandir dicho fluido de trabajo evaporado y absorber dicho fluido de trabajo expandido en una mezcla de absorción líquida, dentro de un absorbente, cuya mezcla de absorción comprende por lo menos un fluido de absorción,

50 - extraer por lo menos parcialmente la mezcla de absorción del absorbente, y presurizar dicha mezcla de absorción extraída, y

- separar dicha mezcla de absorción presurizada, dentro de un separador, en un efluente de trabajo y un efluente de absorción, con lo cual dicho efluente de trabajo se alimenta al evaporador, y con lo cual dicho efluente de absorción se alimenta al absorbente.

En particular, durante dicha separación, la mezcla de absorción se somete de este modo a una presión igual o superior al punto de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro, y/o a una temperatura igual o inferior a la temperatura de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro.

5 Preferiblemente, para realizar el procedimiento según el primer aspecto, se proporciona un sistema de absorción de ciclo cerrado, por ejemplo, el sistema de absorción de ciclo cerrado según el segundo aspecto de la invención. En cada caso, el sistema comprende preferiblemente por lo menos un evaporador, un absorbente, un dispositivo de presurización (p. ej., un dispositivo de bomba) y un separador. Cuando se emplea el procedimiento para convertir energía térmica en energía mecánica, el sistema preferiblemente comprende además una máquina de expansión, mediante la cual el fluido de trabajo evaporado se expande a través y/o dentro de dicha máquina de expansión, para
10 generar energía mecánica.

El término "mezcla de absorción", como se usa en la presente memoria, se refiere a una mezcla que comprende por lo menos el fluido de absorción. En el absorbente, la mezcla de absorción se expone al fluido de trabajo expandido, absorbiéndolo y disolviéndolo. Preferiblemente, según las condiciones del absorbente (p. ej., temperatura, presión y composición de las fases líquida y gaseosa), la mezcla de absorción es capaz de disolver por lo menos 10 volúmenes del fluido de trabajo gaseoso, por volumen líquido de la mezcla, más preferiblemente por lo menos 50 volúmenes, más preferiblemente por lo menos 100 volúmenes, y más preferiblemente por lo menos 200 volúmenes del fluido de trabajo gaseoso. Preferiblemente, la mezcla de absorción comprende tanto el fluido de absorción como el fluido de trabajo. Es preferible que la mezcla de absorción ya presente en el absorbente se complemente con el efluente de absorción que sale del separador, de modo que el procedimiento pueda diseñarse como un procedimiento de ciclo cerrado.
15 Preferiblemente, se complementa de forma continua con dicho efluente de absorción.

El término "mezcla de trabajo", como se usa en la presente memoria, se refiere a una mezcla que comprende por lo menos el fluido de trabajo. Preferiblemente, la mezcla de trabajo comprende tanto el fluido de trabajo como el fluido de absorción. Sin embargo, en una realización no limitante del procedimiento, la concentración del fluido de absorción en el fluido de trabajo es insignificante, por ejemplo, menor que el 1 %, de modo que la mezcla de trabajo se aproxima al fluido de trabajo puro (o, cuando corresponda, la combinación de fluidos de trabajo puros). En cualquier caso, la mezcla de trabajo tiene preferiblemente una concentración de fluido de absorción menor que la que tiene la mezcla de absorción. Es preferible además que la mezcla de trabajo ya presente en el evaporador se complemente con el efluente de trabajo que sale del separador, de modo que el procedimiento pueda diseñarse como un procedimiento de ciclo cerrado. Preferiblemente, se complementa de forma continua con dicho efluente de trabajo.
25

En una realización no limitante de la invención, el fluido de trabajo es amoníaco y el fluido de absorción es agua. Por ejemplo, a presión atmosférica, 1 ml de agua a 0 °C disolverá alrededor de 1.175 ml de amoníaco gaseoso, y a 20 °C, 1 ml de agua disolverá alrededor de 700 ml de amoníaco gaseoso. Por tanto, como mezclas de absorción en el absorbente se pueden utilizar agua y soluciones poco concentradas de amoníaco en agua. Si bien el amoníaco reacciona con el agua hasta cierto punto para formar hidróxido de amonio, se evaporará del agua a temperatura ambiente y puede expulsarse de la solución al calentarse. Como tal, se pueden utilizar amoníaco y soluciones altamente concentradas de amoníaco en agua como mezclas de trabajo en el evaporador. Sin embargo, en la presente invención se puede utilizar cualquier fluido de absorción conocido en la técnica y cualquier fluido de trabajo.
30
35

De forma alternativa, se puede emplear más de un fluido de absorción y/o más de un fluido de trabajo. Cuando corresponda, los términos "fluido de absorción" y "fluido de trabajo" pueden referirse a combinaciones de fluidos de absorción y a combinaciones de fluidos de trabajo respectivamente.
40

El sistema es un sistema de "ciclo cerrado", lo que significa que el fluido de absorción y el fluido de trabajo están contenidos dentro de la maquinaria y las tuberías del sistema, con lo cual no existen aberturas deliberadas a sus alrededores. El uso de la palabra "ciclo" en el mismo implica que los fluidos de absorción y de trabajo se utilizan por el sistema separados y posteriormente se reutilizan o reciclan. Como tal, una vez que los fluidos de absorción y de trabajo se cargan en el sistema, no es necesario recargarlos durante el funcionamiento normal, sino que se utilizan una y otra vez. Preferiblemente, se proporciona un sistema de tuberías para llevar el fluido de trabajo, la mezcla de trabajo, el efluente de trabajo, el fluido de absorción, la mezcla de absorción y/o el efluente de absorción mencionados anteriormente a través del sistema. Preferiblemente, se proporcionan uno o más intercambiadores de calor para instalar las temperaturas óptimas en los diferentes componentes del sistema, mediante el intercambio de calor entre sí y/o con fuentes externas de calor y/o frío.
45
50

En una realización, el procedimiento anterior se emplea para convertir energía térmica en energía mecánica, por medio de un fluido de trabajo gaseoso que se expande desde un lado de alta presión a un lado de baja presión, a través de una máquina de expansión. En el lado de alta presión, el evaporador produce una corriente del fluido de trabajo gaseoso. Con este fin se extrae calor de la fuente de calor, por ejemplo, a través de un intercambiador de calor acoplado o integrado en el evaporador. A continuación, este calor se suministra a la mezcla de trabajo, lo que provoca que el fluido de trabajo se evapore por lo menos parcialmente de dicha mezcla. Preferiblemente, el evaporador produce una corriente continua del fluido de trabajo gaseoso.
55

En una realización alternativa o adicional, el presente procedimiento se emplea con fines para enfriar. Luego se extrae el calor de una o más fuentes de calor "frías". El calor se puede extraer de una o más fuentes de calor "frías" en el lado del evaporador. De forma alternativa, o además de esto, se puede extraer calor de una o más fuentes de calor "frías" durante y/o después de la expansión del fluido de trabajo. Dicha expansión puede ser una expansión adiabática. Posteriormente, dicho calor se transfiere a una o más fuentes de calor "calientes", en el lado del absorbente. De este modo se bombea calor desde dicha(s) fuente(s) de calor fría(s) a dicha(s) fuente(s) de calor caliente(s), con lo cual dicha(s) fuente(s) fría(s) se enfrían aún más. En una posible realización, dentro del evaporador tiene lugar una evaporación y expansión sustancialmente "libres" del fluido de trabajo. Preferiblemente, el presente procedimiento es por lo menos adecuado para convertir energía térmica en energía mecánica y/o para enfriar. A lo largo de la presente memoria, como entenderá el experto en la materia, "enfriamiento" debería considerarse un equivalente a "bombeo de calor".

Preferiblemente, cuando se emplea el sistema/procedimiento como sistema/procedimiento de enfriamiento, la presión en el evaporador es relativamente baja. Cuando se utiliza amoníaco como fluido de trabajo, dichas presiones "relativamente bajas" se sitúan preferiblemente entre 0,5 y 15 bar, más preferiblemente inferior a 10 bar, más preferiblemente inferior a alrededor de 7,2 bar, es decir, el punto de ebullición del amoníaco a 15 °C, y más preferiblemente inferior a 5 bar, por ejemplo, alrededor de 0,5 bar, alrededor de 1,0 bar, alrededor de 1,5 bar, alrededor de 2,0 bar, alrededor de 2,5 bar, alrededor de 3,0 bar, alrededor de 3,5 bar, alrededor de 4,0 bar, alrededor de 4,5 bar, alrededor de 5,0 bar, o cualquier valor entremedio. Cuando se utiliza dióxido de carbono como fluido de trabajo, dichas presiones "relativamente bajas" están preferiblemente entre 1 bar y 70 bar, preferiblemente inferior a 60 bar, preferiblemente inferior a alrededor de 50 bar, es decir, el punto de ebullición del dióxido de carbono a 15 °C y más preferiblemente inferior a 40 bar. Estos valores de presión permiten convenientemente extraer calor de alguna fuente fría, en el evaporador. Preferiblemente, como reconocerá el experto en la materia, la presión es preferiblemente menor que la presión del punto de ebullición en condiciones de temperatura ambiente.

Preferiblemente, cuando se emplea el sistema/procedimiento como sistema/procedimiento de generación de potencia, la presión en el evaporador es relativamente alta. Dichas presiones "relativamente altas" están preferiblemente entre 1 y 110 bar, más preferiblemente superiores a 2 bar, más preferiblemente inferiores a 40 bar, y más preferiblemente superiores a 5 bar, por ejemplo, alrededor de 5 bar, 10 bar, 15 bar, 20 bar, 25 bar, 30 bar, 35 bar, 70 bar, 110 bar o cualquier valor entremedio. El valor de presión más adecuado depende de la temperatura de la fuente de calor disponible. La máquina de expansión es entonces capaz de recuperar cantidades sustanciales de energía mecánica del fluido de trabajo en expansión. Esta energía mecánica puede emplearse, por ejemplo, en la formación de energía eléctrica, donde la máquina de expansión acciona un mecanismo generador de energía eléctrica, tal como un generador o un alternador.

Se puede acoplar térmicamente un ciclo cerrado de baja presión y uno de alta presión. El absorbente del ciclo de baja presión puede acoplarse al evaporador del ciclo de alta presión para poder generar energía mecánica en el ciclo de alta presión, comenzando a partir de una fuente de calor de baja temperatura acoplada en el evaporador del ciclo de baja presión.

El fluido de trabajo gaseoso expandido pasa posteriormente al absorbente, en el lado de baja presión del sistema, donde es absorbido en la mezcla de absorción como se describe anteriormente. Preferiblemente, el fluido de trabajo, el fluido de absorción y las condiciones (p. ej., temperatura, presión, composición de las fases líquida y gaseosa) en el absorbente son tales que la absorción del fluido de trabajo gaseoso en la mezcla de absorción es un proceso altamente espontáneo. Como tal, en el caso de que el procedimiento se utilice para generar energía mecánica, se crea una reducción de presión significativa en una fase posterior de la máquina de expansión. Ventajosamente, se aumenta la caída de presión a través de la máquina de expansión y se puede recuperar de la expansión una mayor cantidad de energía mecánica o eléctrica. En la técnica se conocen máquinas de expansión adecuadas. Pueden comprender una o más turbinas de gas y/o uno o más cilindros de gas. De forma alternativa, se puede utilizar cualquier otro tipo adecuado de máquina de expansión o máquina de desplazamiento positivo. Opcionalmente, se proporcionan intercambiadores de calor para intercambiar calor entre una o más máquinas de expansión, en aras de optimizar sus condiciones de trabajo.

El fluido de trabajo del sistema de ciclo cerrado en general se devuelve desde el lado de baja presión al lado de alta presión, después de haberse expandido y después de haberse absorbido. Al hacerlo, el fluido de trabajo cierra su ciclo. Con este fin, el sistema comprende preferiblemente por lo menos un dispositivo para presurizar medios fluidos, es decir, el dispositivo de presurización. Sin embargo, un aspecto típico de los sistemas de ciclo cerrado es que esta etapa requiere una cantidad significativa de energía mecánica (por ejemplo, una parte importante de la energía mecánica que se ha recuperado durante la expansión del fluido de trabajo a través de la máquina de expansión, cuando corresponda). En general, la cantidad de energía mecánica necesaria para presurizar un medio depende de la compresibilidad de dicho medio. Se requiere una cantidad menor de energía mecánica, con valores de compresibilidad cada vez menores.

En el caso más específico de un sistema de absorción de ciclo cerrado, el fluido de trabajo se absorbe o disuelve temporalmente en una fase líquida, concretamente en la mezcla de absorción líquida. A continuación, se presuriza esta mezcla de absorción líquida (que contiene fluido de trabajo), después de lo cual se extrae/separa de ella el fluido de trabajo gaseoso, en el lado de alta presión. Típicamente, esto último se realiza mediante técnicas de separación

por evaporación basadas en la destilación. Una ventaja de presurizar la mezcla de absorción líquida, en lugar de presurizar directamente el fluido de trabajo gaseoso, es que se necesita mucha menos energía mecánica. De hecho, la mezcla de absorción líquida tiene una compresibilidad mucho menor que el fluido de trabajo gaseoso.

5 En el presente procedimiento, la mezcla de absorción se somete, durante la separación, a una presión igual o superior a la presión de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro. Es decir, la presión del separador es igual o superior a la presión de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro, cuando la temperatura de este último es igual a la temperatura del separador. De forma alternativa, o de manera parecida, la temperatura del separador es igual o inferior a la temperatura de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro, cuando la presión de este último es igual a la presión del separador. De hecho, ambos son equivalentes. Por "temperatura del separador" y
10 "presión del separador" se debe entender respectivamente la temperatura y la presión de la mezcla de absorción durante la separación, es decir, por lo menos en el lugar de separación. "Durante" en la presente memoria se refiere en términos generales a "por lo menos una vez durante". Más específicamente, "durante" puede entenderse en una realización no limitante como "a lo largo de todo". En realizaciones en las que se combinan dos o más fluidos de trabajo, las condiciones de separación anteriores se refieren al punto de condensación de dichos fluidos de trabajo
15 combinados (que por lo tanto se consideran el fluido de trabajo "puro").

En general, la mezcla de absorción puede estar sometida a diversas presiones a, o por encima de, la presión de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro, o a una trayectoria de presión (por ejemplo, a través de una membrana de filtración), igual y/o superior a la presión de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro.

20 Las condiciones de separación que son iguales o superiores a la presión de condensación del fluido de trabajo puro (o, de forma alternativa, iguales o inferiores a la temperatura de condensación del fluido de trabajo puro) tienen como consecuencia que la mezcla de absorción que se separa reside sustancialmente en una o más fases condensadas (líquidas y/o sólidas). Por lo tanto se supone que la presión de vapor del fluido de trabajo puro está muy por encima de la del fluido de absorción puro, como es típicamente el caso en los ciclos de absorción. En una realización no limitante, se puede usar un dispositivo de presurización tal como un dispositivo de bomba o una columna hidrostática
25 para obtener las condiciones de separación de alta presión mencionadas anteriormente. Por lo tanto, en una columna hidrostática, la presión hidrostática aumentará por lo menos localmente por encima de la presión de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro. La mezcla homogénea solo se transforma localmente en una mezcla heterogénea del efluente de trabajo y efluente de absorción.

30 El presente procedimiento proporciona así un proceso de separación de fases líquidas, para realizar por lo menos una separación preliminar y/o parcial de la mezcla de absorción líquida. En este proceso, la mezcla de absorción líquida se separa en un efluente de absorción líquido y un efluente de trabajo líquido. El efluente de trabajo líquido se enriquece en el fluido de trabajo y se complementa con la mezcla de trabajo ya presente en el evaporador. Como consecuencia, el contenido del evaporador tendrá una mayor concentración del fluido de trabajo, en comparación con los procedimientos/sistemas de ciclo cerrado que emplean únicamente técnicas de separación por evaporación
35 basadas en la destilación, y donde la mezcla de absorción en sí se alimenta directamente al evaporador para su separación. En el presente procedimiento, el evaporador tiene como máximo una función de separación complementaria y/o final, además de su función de evaporación principal.

40 Una ventaja es que se pierde menos energía térmica para generar cantidades iguales del fluido de trabajo gaseoso, en comparación con los procedimientos/sistemas de la técnica anterior en los que el fluido de trabajo gaseoso se extrae directamente de la mezcla de absorción en ebullición, mediante destilación en el evaporador. En primer lugar, el contenido del evaporador ahora tiene una presión de vapor global más alta a temperaturas iguales. Esto se debe a que su concentración del fluido de trabajo es mayor que la de la mezcla de absorción, donde se supone que la presión de vapor del fluido de trabajo puro está muy por encima de la del fluido de absorción puro. Además, se pierde menos energía térmica para calentar el fluido de absorción en el evaporador, ya que el contenido del evaporador ahora tiene
45 una concentración de fluido de absorción más baja. Ventajosamente, la energía térmica que procede de la fuente de calor mencionada anteriormente se empleará más eficazmente.

Otra ventaja es que cualquier función de separación complementaria/final del evaporador, si corresponde, producirá una fase gaseosa más pura, con mayores concentraciones del fluido de trabajo. Esto se debe a que, para empezar, el contenido del evaporador y, por tanto, la mezcla de trabajo, tiene una mayor concentración del fluido de trabajo y
50 es una propiedad conocida de los procesos de separación basados en la destilación.

Dado que el contenido del evaporador ahora tiene una presión de vapor global más alta, el presente procedimiento es aplicable a una gama más amplia de fuentes de calor, en particular aquellas que tienen una temperatura más baja. Preferiblemente, la fuente de calor es una fuente de calor de baja temperatura, de manera que proporciona energía térmica de baja temperatura. La actividad geotérmica, la energía solar, las aguas residuales industriales y diversos tipos de procesos de combustión se consideran fuentes adecuadas de calor a baja temperatura. Dados los riesgos
55 asociados con las grandes emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático, existe claramente la necesidad de emplear en mayor medida estas fuentes de energía renovables y residuales. Sin embargo, se puede utilizar cualquier otra fuente de calor adecuada.

- Como se ha mencionado anteriormente en el primer aspecto, la mezcla de absorción comprende una fase de trabajo y una fase de absorción. La mezcla de absorción comprende así una mezcla heterogénea de dos o más fases condensadas (es decir, líquidas y/o sólidas). Por lo menos una de esas fases es una "fase de trabajo" y por lo menos una de esas fases es una "fase de absorción". Preferiblemente, la fase de trabajo está enriquecida en el fluido de trabajo, lo que significa que tiene una concentración del fluido de trabajo mayor que la que tiene la fase de absorción. Preferiblemente, la fase de absorción está enriquecida en el fluido de absorción, lo que significa que tiene una concentración de fluido de absorción mayor que la que tiene la fase de trabajo. Esto permite un proceso de separación específico de cada fase para realizar por lo menos una separación preliminar y/o parcial de la mezcla de absorción líquida.
- 5 Puesto que la fase de trabajo y la fase de absorción son fases líquidas, no hay forma de que la invención se limite a dichos casos. El autor de la invención encontró que, al alcanzar/atrasar el punto de condensación del fluido de trabajo puro, provocado por el aumento de presión del separador y/o por la disminución de temperatura del separador, la mezcla de absorción homogénea se convierte en una mezcla heterogénea que comprende una fase de absorción y una fase de trabajo. En la última mezcla, la fase de absorción se puede separar de la fase de trabajo, basándose en propiedades físicas específicas de estas fases, por ejemplo, basándose en una diferencia en el peso/densidad específico de las fases, o por ejemplo, basándose en las fases que interactúan de manera diferente con una membrana de filtración dedicada. Con este fin, el separador debería poder resistir una presión hidrostática (de la mezcla de absorción) de por lo menos la presión de condensación del fluido de trabajo puro, a la temperatura correspondiente del separador.
- 10 En realizaciones posibles, el peso específico de por lo menos una de las fases se altera mediante soluto; por ejemplo, la densidad del agua se puede aumentar al añadir sales tal como cloro sódico.
- En una realización adicional o alternativa, dicha mezcla de absorción se separa usando separación centrífuga y/o por gravedad, basándose en una diferencia en el peso específico de las fases mencionadas anteriormente. De este modo, la mayor parte de la fase de trabajo se combina en el efluente de trabajo y/o la mayor parte de la fase de absorción se combina de este modo en el efluente de absorción. Una diferencia significativa en el peso específico entre la fase de trabajo y la fase de absorción permite separar la mezcla de absorción usando un separador por gravedad sencillo (p. ej., un decantador). De forma alternativa, se puede emplear un separador accionado por fuerza centrífuga. Sin embargo, de ninguna manera la invención se limita a decantadores o separadores accionados por fuerza centrífuga; el experto en la materia es capaz de seleccionar un mecanismo de separación según las necesidades específicas, especialmente con respecto al tipo del fluido de trabajo y absorción empleado. Preferiblemente, el último mecanismo de separación se basa en una diferencia en el peso específico de una fase en comparación con la(s) otra(s). De este modo, la mayor parte de la fase de trabajo se combina en el efluente de trabajo, y/o la mayor parte de la fase de absorción se combina de este modo en el efluente de absorción.
- 15 20 25 30
- En una realización adicional o alternativa, dicha mezcla de absorción se separa mediante filtración. Para obtener una separación adecuada, es necesario superar las fuerzas intermoleculares entre el agua y el amoníaco. Estas últimas fuerzas pueden superarse utilizando una membrana semipermeable, por ejemplo, utilizando una membrana de ósmosis inversa. Una presión de separación suficientemente alta aplicada a través de la membrana superará las fuerzas intermoleculares que existen entre el agua y el amoníaco. Preferiblemente, la membrana debería actuar como una membrana semipermeable que obstruya el paso del amoníaco (= retenido), mientras que el agua todavía puede atravesar (= permeado). Por lo tanto, el amoníaco debe estar presente como moléculas de amoníaco "NH₃", en lugar de iones de amonio "NH₄⁺". Esta última situación se obtiene al aumentar la presión global que actúa sobre la mezcla de absorción, hasta valores superiores a la presión de condensación del amoníaco puro. Preferiblemente, también la presión que actúa sobre el efluente de absorción (en el otro lado de la membrana) es superior a la presión de condensación del amoníaco puro.
- 35 40 45
- En general, dichos medios de filtración pueden comprender membranas planas, tubos de membrana, fibras huecas y/o filtros cerámicos. Preferiblemente, dichos medios de filtración comprenden membranas de ósmosis inversa (RO) y/o nanofiltración (NF). Sin embargo, a lo largo de la presente memoria, el término "membrana de filtración" puede sustituirse fácilmente por cualquier otro medio adecuado para realizar ósmosis inversa y/o nanofiltración.
- 50 55
- Como resultado de lo anterior, el presente procedimiento proporciona un proceso de separación por membrana en fase líquida, para realizar por lo menos una separación preliminar y/o parcial de la mezcla de absorción líquida. En este proceso, la mezcla de absorción líquida se separa en un efluente de absorción líquido y un efluente de trabajo líquido, a través de un separador de filtración. El efluente de trabajo líquido se enriquece en el fluido de trabajo y se complementa con la mezcla de trabajo ya presente en el evaporador. Como consecuencia, el contenido del evaporador tendrá una mayor concentración del fluido de trabajo, en comparación con los procedimientos/sistemas de ciclo cerrado que emplean únicamente técnicas de separación por evaporación basadas en la destilación, y donde la mezcla de absorción en sí se alimenta directamente al evaporador para su separación. En el presente procedimiento, el evaporador tiene como máximo una función de separación complementaria y/o final, además de su función de evaporación principal.

Según una realización adicional o alternativa del procedimiento, la mezcla de trabajo tiene una concentración del fluido de trabajo de más de alrededor del 40 %. Cuanto mayor sea la concentración del fluido de trabajo en la mezcla de trabajo, más pronunciadas serán las ventajas antes mencionadas. Preferiblemente, dicha concentración del fluido de trabajo está por encima de alrededor del 50 %, más preferiblemente por encima de alrededor del 60 %, más preferiblemente por encima de alrededor del 70 %, más preferiblemente por encima de alrededor del 80 %, más preferiblemente por encima de alrededor del 90 %, más preferiblemente por encima de alrededor del 95 %, y más preferiblemente por encima de alrededor del 99 %. Para concentraciones tan altas del fluido de trabajo en la mezcla de trabajo, la mezcla de trabajo casi se comporta como un fluido de trabajo puro. El evaporador tiene entonces principalmente una función de evaporación, es decir, la función de convertir dicho fluido de trabajo en fase líquida, casi puro, en un fluido de trabajo en fase gaseosa, casi puro, en el lado de alta presión. La función de separación complementaria/final del evaporador es entonces bastante limitada.

En realizaciones en las que la presión del separador es mayor que la presión requerida por las condiciones de trabajo del evaporador, se puede emplear una válvula reductora de presión. En realizaciones en las que la presión ideal del separador es menor que la presión en las condiciones de trabajo más ideales para el evaporador, se puede emplear un dispositivo de presurización adicional (p. ej., un dispositivo de bombeo).

Según una realización adicional o alternativa, el fluido de absorción comprende agua, con lo cual dicho fluido de trabajo comprende amoníaco. Como alternativa, se pueden usar otros fluidos de trabajo y otros fluidos de absorción que tengan una alta capacidad de absorber dichos fluidos de trabajo. Sin embargo, son preferibles el amoníaco y el agua porque ambos son relativamente económicos y, lo que es más importante, el amoníaco y el agua tienen una gran afinidad entre sí, como se ha ilustrado anteriormente. Si bien el amoníaco reacciona con el agua hasta cierto punto para formar hidróxido de amonio, se evaporará del agua a temperatura ambiente y puede expulsarse de la solución al calentarse, mientras que otros fluidos de trabajo que también son fácilmente solubles en agua son difíciles de separar del agua o son en sí mismos más corrosivos, ya sea como fluido de trabajo gaseoso o como solución en agua, que el amoníaco. Otros fluidos de absorción adecuados comprenden alcoholes, tales como etanol y ácidos tales como acético, y mezclas de los mismos con ellos mismos y agua. En general, se seleccionan fluidos de trabajo y de absorción que permiten que por lo menos alrededor de 200 volúmenes del fluido de trabajo gaseoso se disuelvan en un volumen de la mezcla de absorción líquida (que contiene el fluido de trabajo y el fluido de absorción), en las condiciones que imperan en el absorbente.

En una realización adicional o alternativa, en la que se emplea agua como fluido de absorción, y en la que se emplea amoníaco como fluido de trabajo, la mezcla de absorción se separa a una temperatura de entre 60 °C y 200 °C, más preferiblemente de por lo menos 70 °C, más preferiblemente por lo menos 80 °C, más preferiblemente por lo menos 90 °C, más preferiblemente por lo menos 100 °C, más preferiblemente por lo menos 110 °C, más preferiblemente por lo menos 120 °C, más preferiblemente por lo menos 130 °C, y más preferiblemente entre 120 °C y 160 °C, por ejemplo, entre 130 °C y 150 °C. El autor de la invención observó que la viscosidad de las mezclas y soluciones de agua y amoníaco en fase líquida es significativamente menor a temperaturas tan elevadas y mucho menos dependiente de la fracción de masa de amoníaco en la mezcla de absorción. Más específicamente, las interacciones intermoleculares amoníaco-agua pierden fuerza cuando se calienta la mezcla de absorción a dichas temperaturas. Lo más preferiblemente, la temperatura dentro del separador asciende a 130 °C-150 °C, mientras que la presión dentro del separador está por encima de 115 bar (por lo tanto, por encima de la presión de condensación, presión crítica del amoníaco). En dichas circunstancias, la separación de la mezcla de absorción en un efluente de trabajo y una absorción se produce de forma más espontánea, en comparación con regímenes de temperatura más bajos. En particular, por encima del punto crítico del amoníaco (que es 132,4 °C; 114,8 bar), ya no existe una afinidad significativa entre el agua y el amoníaco. En dichas condiciones, la separación de la mezcla de absorción se produce de forma espontánea.

Según una realización adicional o alternativa, el fluido de absorción comprende agua, con lo cual el fluido de trabajo comprende dióxido de carbono. Según una realización adicional o alternativa, el fluido de absorción es sustancialmente agua.

Según una realización adicional o alternativa, la mezcla de trabajo mencionada anteriormente se transfiere parcialmente desde el evaporador al absorbente y/o al separador. Más preferiblemente, una pequeña cantidad del contenido del evaporador en fase líquida se bombea de forma continua de vuelta desde el evaporador a la sección de entrada del separador. Esto impedirá que el fluido de absorción se acumule en el evaporador. De hecho, dado que el fluido de absorción tiene un punto de ebullición más alto que el fluido de trabajo, permanecerá principalmente en la fase líquida. Por lo tanto, pequeñas cantidades de fluidos de absorción pueden acumularse hasta concentraciones dominantes.

Según una realización adicional o alternativa del procedimiento, se proporciona un intercambiador de calor para calentar adicionalmente dicho fluido de trabajo evaporado. Esto se puede hacer utilizando el calor que procede de las fuentes de calor anterior o de otras, y por medio de los intercambiadores de calor anteriores o por medio de otros. Una ventaja es que el fluido de trabajo calentado puede liberar una mayor cantidad de energía mecánica tras expandirse a través de dicha máquina de expansión.

5 En un segundo aspecto, la invención divulga un sistema de absorción de ciclo cerrado para convertir energía térmica en energía mecánica y/o para enfriar, comprendiendo dicho sistema un evaporador, un absorbente, un separador y un dispositivo de presurización, cuyo dispositivo de presurización está conectado de forma operativa tanto al absorbente como al separador. En particular, dicho dispositivo de presurización está configurado para presurizar una mezcla de absorción, que comprende un fluido de trabajo y un fluido de absorción, desde el absorbente al separador, y hasta una presión promedio igual o superior al punto de condensación del fluido de trabajo sustancialmente puro.

10 Según una realización adicional o alternativa del sistema, dicho sistema está configurado para realizar el procedimiento como se describe anteriormente. A este respecto se pueden repetir todas las ventajas mencionadas anteriormente. Cuando está configurado para generar energía mecánica, el sistema preferiblemente comprende además una máquina de expansión, para generar energía mecánica a través de la expansión del fluido de trabajo evaporado/evaporado.

Según una realización adicional o alternativa, dicho separador es un separador por gravedad y/o centrífugo, con las ventajas mencionadas anteriormente. De forma alternativa, dicho separador es un separador basado en filtración que comprende un medio de filtración, con las ventajas mencionadas anteriormente.

15 Según una realización adicional o alternativa, dicho sistema comprende un intercambiador de calor, para calentar adicionalmente el fluido de trabajo evaporado. Según una realización adicional o alternativa, dicho intercambiador de calor está incorporado en una máquina de expansión del sistema. Preferiblemente, este intercambiador de calor suministra calor a la máquina de expansión, calor que procede de fuentes de calor externas y/o de otros componentes del sistema. Una ventaja es que, durante una expansión isotérmica calentada del fluido de trabajo, la máquina de expansión es capaz de suministrar más energía mecánica, en comparación con una expansión adiabática.

20 Según una realización adicional o alternativa, el evaporador está incorporado en una máquina de expansión del sistema. En el caso de que la concentración del fluido de absorción en la mezcla de trabajo sea suficientemente baja, el evaporador solo tiene una función de separación complementaria/final limitada o incluso ninguna en absoluto. Preferiblemente, la máquina de expansión está provista así de un evaporador que comprende uno o más intercambiadores de calor, cuyos intercambiadores de calor proporcionan una cantidad de calor suficientemente alta para convertir el fluido de trabajo líquido en fluido de trabajo gaseoso, dentro de la máquina de expansión, es decir, tras expandirse. De forma simultánea y/o inmediatamente después, dicha energía de expansión se convierte en energía mecánica útil y se extrae del sistema.

25 La absorción de amoníaco en agua es un proceso exotérmico que se produce de forma muy reactiva. Por lo tanto, el proceso de absorción hará que aumente la temperatura de la mezcla de absorción. Esta temperatura debe permanecer por debajo del punto de ebullición de la mezcla de absorción; de lo contrario, el proceso de absorción ya no se llevará a cabo. Para una concentración del fluido de trabajo menor dentro de la mezcla de absorción, el punto de ebullición de la última mezcla será preferiblemente mayor.

30 El absorbente puede estar diseñado como un intercambiador de calor, donde en un primer compartimento de flujo la mezcla de absorción en fase líquida y el fluido de trabajo en fase gaseosa pueden interactuar entre sí, y en el que en un segundo compartimento en contraflujo fluye un fluido de enfriamiento en interacción térmica con el primer compartimento. De esta manera, la mezcla de absorción en el punto de salida se enfría al máximo mediante el fluido de enfriamiento y, por lo tanto, la mezcla de absorción en la salida puede contener una cantidad del fluido de trabajo lo más alta posible. De este modo se maximiza la eficacia de absorción del absorbente. Además, el fluido de enfriamiento que sale del absorbente se calienta hasta casi el punto de ebullición del fluido de absorción que entra en el absorbente. Cuanto más puro sea el fluido de absorción que entra en el absorbente, mayor será su punto de ebullición y mayor será la temperatura del fluido de enfriamiento que sale del absorbente.

35 A una presión de 1 bar, el punto de ebullición de una mezcla de absorción de H₂O prácticamente al 100 % es de alrededor de 100 °C. El punto de ebullición de una solución acuosa de NH₃ al 10 % es de alrededor de 68 °C. El punto de ebullición de una solución acuosa de NH₃ al 20 % es de alrededor de 47 °C. El punto de ebullición de una solución acuosa de NH₃ al 30 % es de alrededor de 27 °C. El punto de ebullición de una solución acuosa de NH₃ al 40 % es de alrededor de 10 °C. El punto de ebullición de una solución acuosa de NH₃ al 50 % es de alrededor de -5 °C. Especialmente en el caso de que solo estén disponibles fuentes de calor a temperatura ambiente, la potencia de salida mecánica global del sistema se puede aumentar al emplear el calor mencionado anteriormente que se genera durante el proceso de absorción para calentar la máquina de expansión, el llamado motor calentado. Con este fin se puede incorporar en la máquina de expansión un intercambiador de calor adecuado.

Cuanto mayor sea la temperatura del fluido de trabajo que sale del motor calentado, mayor será la cantidad de energía mecánica que genera el fluido de trabajo durante el proceso de expansión en el motor.

40 Puesto que el fluido de trabajo está destinado a enfriarse durante el proceso de expansión en el motor, la potencia de salida mecánica global del motor se puede aumentar mediante el uso de un motor de desplazamiento positivo calentado de tipo giratorio donde el fluido de trabajo y el fluido de calentamiento fluyen en contracorriente durante el proceso de expansión calentado en el motor. De este modo, el fluido de trabajo alcanza una temperatura máxima al final del proceso de expansión.

5 En una posible configuración, el absorbente, el evaporador y la máquina de expansión (calentada) están acoplados térmicamente. Opcionalmente, se acoplan directamente, lo que permite la conducción térmica directa, sin necesidad de fluidos intercambiadores de calor adicionales ni de intercambiadores de calor convencionales. El uso de un fluido de intercambio de calor intermedio crea una caída de temperatura entre el lado caliente y el lado frío del proceso de intercambio de calor. Esta caída de temperatura se puede eliminar al acoplar térmicamente directamente el lado frío y caliente del proceso de intercambio de calor.

Según una realización adicional o alternativa, el separador es un separador basado en filtración que tiene una entrada para la mezcla de absorción y salidas respectivas para los efluentes de trabajo y de absorción.

10 Según una realización adicional o alternativa, la entrada del separador está provista de un intercambiador de calor para calentar la mezcla de absorción a las temperaturas de separación adecuadas, antes de la separación. Opcionalmente, una o ambas salidas del separador están provistas de intercambiadores de calor para recuperar por lo menos parcialmente dicho calor del efluente de absorción líquido y/o del efluente de trabajo líquido, después de la separación.

15 Según una realización adicional o alternativa, el sistema está configurado para realizar el procedimiento según el primer aspecto de la invención. De este modo, se pueden incluir características del procedimiento en el sistema, con lo que se repiten las ventajas correspondientes.

La invención se describe a continuación con más detalle mediante los siguientes ejemplos y figuras no limitantes. Estos ejemplos y figuras adicionales pretenden ilustrar la invención y no pretenden limitar, ni deben interpretarse que limitan, su alcance.

20 La figura 1 ofrece una representación esquemática de un sistema 1 de absorción de ciclo cerrado según una realización de la invención. El sistema 1 comprende un evaporador 2, una máquina 3 de expansión, un absorbente 4, dos dispositivos 5 de presurización y un separador 6. Se proporcionan múltiples intercambiadores 7 de calor para instalar las temperaturas óptimas en los componentes individuales del sistema 1. Lo hacen intercambiando calor y/o intercambiando calor con una o más fuentes externas de calor y/o frío.

25 Cuando el sistema 1 está en funcionamiento, el evaporador 2 contiene una mezcla 8 de trabajo en ebullición, en equilibrio con su fase gaseosa. La mezcla 8 de trabajo comprende tanto el fluido 9 de trabajo como el fluido de absorción, mientras que su fase gaseosa comprende principalmente el fluido 9 de trabajo gaseoso. Está previsto un intercambiador 7 de calor para suministrar calor de forma continua al evaporador 2. Este último calor procede de alguna fuente de calor de baja temperatura. El fluido 9 de trabajo gaseoso se extrae del evaporador 2 por medio de un tubo y se calienta adicionalmente utilizando un segundo intercambiador 7 de calor. Así, por ejemplo, el calor necesario se extrae de la misma fuente de calor de baja temperatura. Posteriormente, el fluido 9 de trabajo se expande a través de la máquina 3 de expansión, desde el lado de alta presión al lado de baja presión. El absorbente 4 está previsto en el lado de baja presión para disolver posteriormente el fluido 9 de trabajo expandido gaseoso en una mezcla 10 de absorción. En el caso del agua y del amoníaco, este proceso es muy espontáneo, de modo que la presión en el absorbente 4 disminuye aún más. Además, este proceso es exotérmico. El excedente de calor se drena a través de otro intercambiador 7 de calor incorporado en el absorbente 4. Por ejemplo, una parte de este calor se puede transferir al fluido 9 de trabajo expandido, puesto que este último ha experimentado una caída de temperatura significativa durante su expansión.

40 Del absorbente 4 se extrae de forma continua una corriente de mezcla 10 de absorción. Con este fin está previsto un dispositivo 5' de presurización. Este último presuriza la mezcla 10 de absorción de regreso al lado de alta presión del sistema 1. Posteriormente, el separador 6 separa la mezcla 10 de absorción presurizada en un efluente 11 de trabajo y un efluente 12 de absorción. Durante dicha separación, la mezcla 10 de absorción (opcionalmente complementada con una pequeña cantidad de mezcla 8 de trabajo, que sale del evaporador 2 a baja velocidad) se somete a una presión igual o superior a la presión de condensación del fluido 9 de trabajo sustancialmente puro. Esto permite una separación sencilla, basada en diferencias físicas entre la fase de trabajo y la fase de absorción, como se describe anteriormente.

45 El efluente 11 de trabajo se enriquece en el fluido 9 de trabajo y se suministra al evaporador 2. El efluente 12 de absorción, por otro lado, se enriquece en el fluido de absorción y se suministra al absorbente 4. Cualquier caída de presión que surja de este modo puede superarse mediante la provisión de una válvula 13 de expansión. Sin embargo, dicha válvula 13 de expansión es opcional; puede o no estar presente.

La siguiente tabla se refiere a una realización adicional específica de la figura 1. La tabla resume las temperaturas, presiones, densidades y concentraciones en las partes clave A-M respectivas del sistema 1 de absorción de ciclo cerrado. Además, se muestran las entradas y salidas de potencia P y calor Q al sistema 1.

55 En particular, el fluido 9 de trabajo es amoníaco (R717) y el fluido de absorción es agua (R718). La mezcla 10 de absorción tiene un flujo del fluido 9 de trabajo de alrededor de 1 kg/s y un flujo de fluido de absorción de alrededor de 2,33 kg/s. El separador 6 es un separador por gravedad diseñado como un decantador estacionario. La máquina 3 de expansión es una turbina de gas. La potencia mecánica neta teórica producida es de 49 kW. El ciclo proporciona una fuente de frío a temperatura constante (-25 °C) con una potencia térmica de 1.345 kW.

ES 2 964 110 T3

	T (°C)	P [bar]	v [m ³ /kg]	NH ₃ [%]	H ₂ O [%]	Q [kW]	P [kW]
A	-25,21	1,5	0,78	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						91,64	
B	15,00	1,5	0,92	99,99	0,01		
MÁQUINA 3 DE EXPANSIÓN							-53,32
C	-11,05	1,0	1,25	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						57,06	
D	15,00	1,0	1,39	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						-1.475,97	
E	25	1,0	0,0011	30	70		
DISPOSITIVO 5" DE PRESURIZACIÓN							4,03
F	25	12,0	0,0011	30	70		
G	25	12,0	0,0011	30	70		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
I	25	12,0	0,0011	30	70		
J	25	12,0	0,00166	99,9	0,1		
K	25	1,5	0,00166	99,9	0,1		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						1.345,24	
L	-25,21	1,5	0,00162	98,0	2,0		
DISPOSITIVO 5" DE PRESURIZACIÓN							0,1
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						31,32	
M	15	12	0,00162	98,0	2,0		

5 La figura 2 ofrece una representación esquemática de un sistema 1 de absorción de ciclo cerrado según otra realización de la invención. A diferencia de la realización de la figura 1, ahora se ha incorporado un intercambiador 7 de calor en la máquina 3 de expansión. Este intercambiador 7 de calor suministra calor al fluido 9 de trabajo en expansión. Ventajosamente, durante una expansión calentada, sustancialmente isotérmica, del fluido 9 de trabajo, la máquina 3 de expansión es capaz de suministrar una mayor cantidad de energía mecánica, en comparación con una expansión adiabática. Como dispositivo 5" de presurización adicional está prevista una columna hidrostática (altura aproximada de 100 m).

10 La siguiente tabla se refiere a una realización adicional específica de la figura 2. La tabla resume las temperaturas, presiones, densidades y concentraciones en las partes clave A-M respectivas del sistema 1 de absorción de ciclo cerrado. Además, se muestran las entradas y salidas de potencia P y calor Q al sistema 1.

En particular, el fluido de trabajo es amoníaco (R717) y el fluido de absorción es agua (R718). La mezcla 10 de absorción tiene un flujo del fluido 9 de trabajo de alrededor de 1 kg/s y un flujo de fluido de absorción de alrededor de 2,33 kg/s. La potencia mecánica neta teórica producida es de 268 kW.

ES 2 964 110 T3

	T (°C)	P [bar]	v [m³/kg]	NH ₃ [%]	H ₂ O [%]	Q [kW]	P [kW]
A	15,00	7,28	0,1746	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
B	15,00	7,28	0,1746	99,99	0,01		
MÁQUINA 7-3 DE EXPANSIÓN CALENTADA						317,80	-268,88
C	15,00	1,0	1,3895	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
D	15,00	1,0	1,3895	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						-1.475,97	
M	25	1,0	0,0011	30	70		
DISPOSITIVO 5° DE PRESURIZACIÓN							0,77
F	25	3,08	0,0011	30	70		
G	25	12,0	0,0011	30	70		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
I	25	12,0	0,0011	30	70		
J	25	12,0	0,00166	99,9	0,1		
K	25	7,28	0,00166	99,9	0,1		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						1.426,18	
L	15	7,28	0,1746	98,0	2,0		
DISPOSITIVO 5° DE PRESURIZACIÓN							0,1
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
M	15	12	0,00162	98,0	2,0		

5 La figura 3 ofrece una representación esquemática de un sistema 1 de absorción de ciclo cerrado según otra realización más de la invención. A diferencia de la realización de la figura 2, ahora se ha incorporado el evaporador 2 a la máquina 3 de expansión. Esto es posible en el caso de que el efluente 11 de trabajo tenga una concentración de fluido de absorción suficientemente baja. Como tal, el evaporador 2 ya no tiene una función de separación importante, y el efluente 11 de trabajo puede alimentarse directamente a una máquina 3 de expansión calentada; de esta manera el propio evaporador 2 se ha incorporado a la máquina 3 de expansión. Como tal, la energía de expansión del efluente de trabajo, al pasar de la fase líquida a la gaseosa, puede convertirse en energía mecánica útil.

10 La siguiente tabla se refiere a una realización adicional específica de la figura 3. La tabla resume las temperaturas, presiones, densidades y concentraciones en las partes clave A-G, J y N respectivas del sistema 1 de absorción de ciclo cerrado. Además, se muestran las entradas y salidas de potencia P y calor Q al sistema 1.

ES 2 964 110 T3

En particular, el fluido de trabajo es amoníaco (R717) y el fluido de absorción es agua (R718). La mezcla 10 de absorción tiene un flujo del fluido 9 de trabajo de alrededor de 1 kg/s y un flujo de fluido de absorción de alrededor de 2,33 kg/s. El separador es un separador por gravedad, por ejemplo, un decantador. La máquina 3 de expansión es una máquina 3 de expansión isotérmica, por ejemplo, una máquina de desplazamiento positivo calentada. La potencia mecánica neta teórica producida es de 394 kW.

5

	T (°C)	P [bar]	v [m³/kg]	NH ₃ [%]	H ₂ O [%]	Q [kW]	P [kW]
A	25	7,28	0,00166	99,9	0,1		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
B	25	7,28	0,00166	99,9	0,1		
MÁQUINA 7-3 DE EXPANSIÓN CALENTADA						1.866,76	-394,82
C	15,00	1,0	1,3895	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
D	15,00	1,0	1,3895	99,99	0,01		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						-1.475,97	
M	25	1,0	0,0011	30	70		
DISPOSITIVO 5' DE PRESURIZACIÓN							4,03
F	25	12,0	0,0011	30	70		
G	25	12,0	0,0011	30	70		
INTERCAMBIADOR 7 DE CALOR						0	
I	25	12,0	0,0011	30	70		
J	25	12,0	0,00166	99,9	0,1		

Ejemplo 1

En una posible realización, el fluido de absorción comprende agua, con lo cual el fluido de trabajo comprende dióxido de carbono. Suponiendo que la temperatura del separador es igual a alrededor de 20 °C, la mezcla de absorción, a presiones de alrededor de 57 bar o más, se dividirá en una fase de absorción líquida (de agua saturada con dióxido de carbono) y una fase de trabajo líquida (principalmente de carbono). dióxido). De este modo la densidad del dióxido de carbono líquido asciende a alrededor de 775 kg/m³. La densidad de la fase acuosa se puede cambiar al añadir un soluto al fluido de absorción. Por ejemplo, podría usarse agua que incluya cloro sódico como fluido de absorción, para garantizar que la fase de absorción tenga un peso específico sustancialmente mayor que el que tiene la fase de trabajo. Mediante un proceso de separación por gravedad y/o separación por fuerza centrífuga, la fase de trabajo se recoge en su mayor parte en un efluente de trabajo, mientras que la fase de absorción se recoge en su mayor parte en un efluente de absorción, basándose en su diferencia de gravedad específica.

Ejemplo 2

En una posible realización, el fluido de absorción comprende agua, con lo cual el fluido de trabajo comprende amoníaco. Suponiendo que la presión del separador es igual a alrededor de 1 bar, la mezcla de trabajo en el separador se puede enfriar por debajo de una temperatura de solidificación para el agua, alrededor de -100 °C a 0 °C, dependiendo del contenido de amoníaco. Para mezclas de trabajo que tienen un contenido de amoníaco de alrededor de 30 % o menos, se formará de este modo una fase de absorción sólida y sustancialmente pura. Esta fase de absorción se puede separar fácilmente, por ejemplo, mediante filtración. De este modo se aumenta la concentración de amoníaco en la fase líquida restante. Como tal, se realiza por lo menos una separación preliminar o parcial de la mezcla de absorción líquida. Sin embargo, se consume mucho calor latente en los procesos de solidificación y fusión,

de modo que la eficacia del ciclo puede ser relativamente baja.

Ejemplo 3

5 En una posible realización, el fluido de absorción comprende agua, mientras que el fluido de trabajo comprende amoníaco. La mezcla de absorción de agua y amoníaco que sale del absorbente se calienta y se presuriza. Posteriormente se alimenta a un separador. La temperatura en el separador asciende a alrededor de 130 °C. De manera muy ventajosa, las soluciones y mezclas de amoníaco y agua tienen valores de viscosidad muy bajos a temperaturas tan elevadas. Se observó una viscosidad inferior a 250 $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$. Al mismo tiempo, la presión en el separador asciende a alrededor de 115 bar, es decir, a/por encima del punto de condensación del fluido de trabajo puro (= amoníaco). En este último caso se tuvo en cuenta la temperatura del separador mencionada anteriormente.

10 El autor de la invención descubrió que, en dichas condiciones, la mezcla de absorción homogénea se convierte en una mezcla heterogénea que comprende una fase de absorción y una fase de trabajo. Ambas son fases líquidas.

Ejemplo 4

15 En una posible realización, la fase de absorción se puede separar de la fase de trabajo, basándose en las propiedades físicas específicas de la fase de una membrana de filtración. Más específicamente, el agua tenderá a desplazarse a través de la membrana. El permeado resultante proporciona un efluente de absorción. El efluente de absorción se encuentra a una presión algo menor (considerando la caída de presión a través de la membrana), pero aún por encima de la presión de condensación relevante del amoníaco puro. El retenido tiene un mayor contenido de amoníaco. Puede emplearse como efluente de trabajo.

Los elementos de las figuras son:

- 20 1. Sistema de absorción de ciclo cerrado.
2. Evaporador
3. Máquina de expansión
4. Absorbente
5. Dispositivo de presurización
- 25 6. Separador
7. Intercambiador de calor
8. Mezcla de trabajo
9. Fluido de trabajo
10. Mezcla de absorción
- 30 11. Efluente de trabajo
12. Efluente de absorción
13. Válvula de expansión

35 Se supone que la presente invención no está restringida a ninguna forma de realización descrita previamente y que pueden añadirse algunas modificaciones a los ejemplos y figuras presentados sin una nueva evaluación de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para convertir energía térmica en energía mecánica, y/o para enfriar, usando un sistema 1 de absorción de ciclo cerrado, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- 5 - transferir energía térmica desde una fuente de calor a una mezcla 8 de trabajo líquida, dentro de un evaporador 2, cuya mezcla 8 de trabajo comprende por lo menos un fluido 9 de trabajo, y con lo cual dicho fluido 9 de trabajo se evapora por lo menos parcialmente de dicha mezcla 8 de trabajo,
- expandir dicho fluido 9 de trabajo evaporado, y absorber dicho fluido 9 de trabajo expandido en una mezcla 10 de absorción de líquido, dentro de un absorbente 4, cuya mezcla 10 de absorción comprende por lo menos un fluido de absorción,
- 10 - extraer por lo menos parcialmente la mezcla 10 de absorción del absorbente 4, y presurizar dicha mezcla 10 de absorción extraída, y
- separar dicha mezcla 10 de absorción presurizada, dentro de un separador 6, en un efluente 11 de trabajo y un efluente 12 de absorción, con lo cual dicho efluente 11 de trabajo se alimenta al evaporador 2, y con lo cual dicho efluente 12 de absorción se alimenta al absorbente 4,
- 15 caracterizado por que,
- durante dicha separación, la mezcla 10 de absorción se somete a una presión igual o superior a la presión de condensación del fluido 9 de trabajo puro, con lo cual, durante dicha separación, la mezcla 10 de absorción comprende una fase de trabajo y una fase de absorción, por lo que dicha fase de trabajo y fase de absorción son fases líquidas.
2. El procedimiento según la reivindicación 1 anterior, con lo cual dicha mezcla 10 de absorción se separa usando separación centrífuga y/o por gravedad, o usando filtración.
3. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con lo cual dicho fluido de absorción comprende agua, con lo cual dicho fluido 9 de trabajo comprende dióxido de carbono.
4. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con lo cual dicho fluido de absorción comprende agua, con lo cual dicho fluido 9 de trabajo comprende amoníaco.
- 25 5. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con lo cual dicho fluido de absorción es sustancialmente agua.
6. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con lo cual la mezcla 8 de trabajo se transfiere parcialmente desde el evaporador 2 al absorbente 4 y/o al separador 6.
- 30 7. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con lo cual dicho fluido 9 de trabajo evaporado se calienta adicionalmente.
8. Un sistema 1 de absorción de ciclo cerrado para convertir energía térmica en energía mecánica, y/o para enfriar, dicho sistema 1, configurado para realizar el procedimiento según la reivindicación 1 y que comprende un evaporador 2, un absorbente 4, un separador 6 y un dispositivo 5 de presurización, cuyo dispositivo 5 de presurización está conectado de forma operativa tanto al absorbente 4 como al separador 6, con lo cual dicho dispositivo 5 de presurización está configurado para presurizar una mezcla 10 de absorción que comprende un fluido 9 de trabajo y un fluido de absorción, desde el absorbente 4 al separador 6, y hasta una presión igual o superior a la presión de condensación del fluido 9 de trabajo puro.
- 35 9. El sistema 1 según la reivindicación anterior 8, con lo cual dicho separador 6 es un separador por gravedad y/o centrífugo.
- 40 10. El sistema 1 según una cualquiera de las reivindicaciones 8 y 9, con lo cual dicho sistema 1 comprende un intercambiador 7 de calor, para calentar adicionalmente el fluido 9 de trabajo evaporado.
11. El sistema 1 según la reivindicación anterior 10, con lo cual dicho intercambiador 7 de calor está incorporado en una máquina 3 de expansión del sistema 1.
- 45 12. El sistema 1 según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, con lo cual dicho evaporador 2 está incorporado en una máquina 3 de expansión del sistema 1.

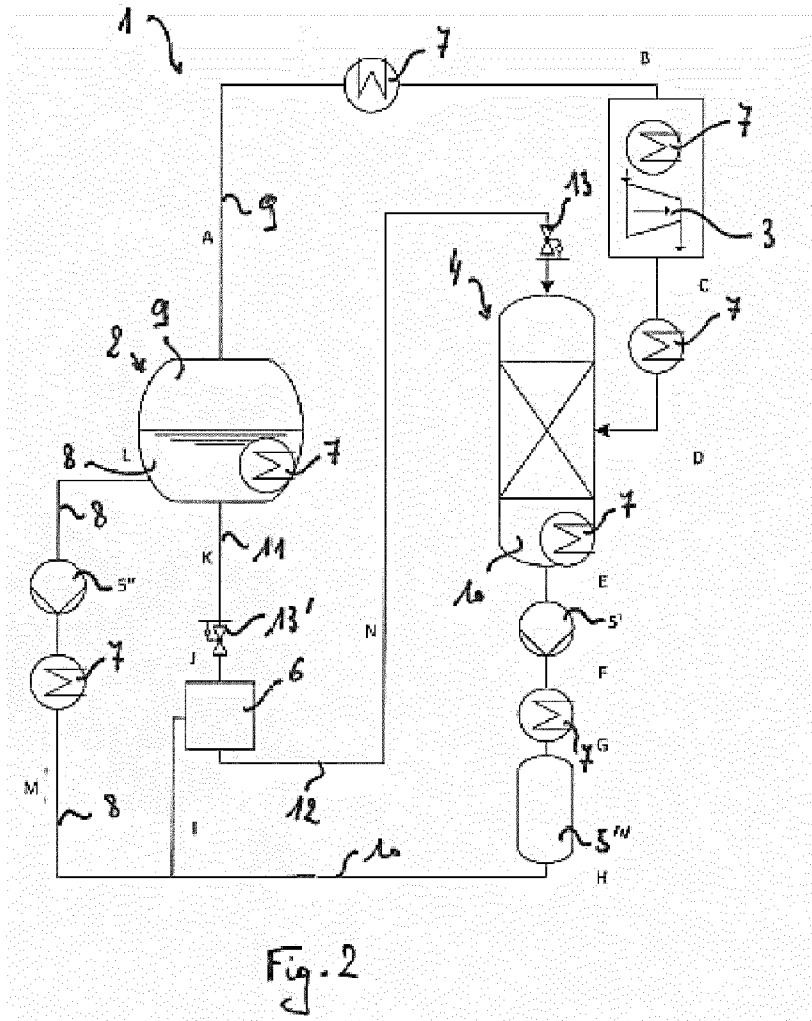


Fig. 2

