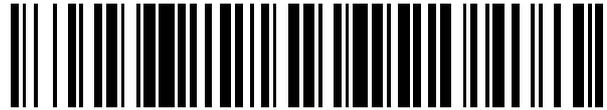


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 550**

51 Int. Cl.:

F25J 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2014 PCT/GB2014/050959**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.10.2014 WO14155108**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2014 E 14715076 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019 EP 2979050**

54 Título: **Método y equipo en un proceso de licuefacción criogénico**

30 Prioridad:

27.03.2013 GB 201305640

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

20.03.2020

73 Titular/es:

**HIGHVIEW ENTERPRISES LIMITED (100.0%)
Suite A, 6 Honduras Street
London EC1Y 0TH, GB**

72 Inventor/es:

**BRETT, STEPHEN GARETH y
CASTELLUCCI, NICOLA**

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 749 550 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

Método y equipo en un proceso de licuefacción criogénico

5 Campo de la invención

[0001] La presente invención está relacionada con los sistemas de almacenamiento de energía y, más particularmente, está relacionada con el uso eficiente de corrientes frías provenientes de una fuente externa, como un proceso de regasificación de gas natural licuado (GNL).

10

Antecedentes de la invención

[0002] Las redes de transmisión y distribución de electricidad deben equilibrar la producción o generación de electricidad y la demanda de los consumidores. Normalmente, esto se consigue regulando el lado o parte de la producción (la parte del suministro), es decir, poniendo en marcha y parando las centrales eléctricas y haciendo que algunas funcionen con una carga reducida. Puesto que la mayoría de centrales eléctricas térmicas y nucleares que existen son más eficientes cuando funcionan de forma continua y a plena carga, existe una penalización de eficiencia al equilibrar el lado del suministro de esta forma. La esperada introducción en las redes de una significativa capacidad de producción renovable intermitente -como turbinas eólicas y captadores solares- complicará aún más el equilibrado de las redes, ya que creará incertidumbre en cuanto a la disponibilidad de las partes del equipo de producción -también denominado 'parque de generación' o 'flota de generación'. Un método para almacenar energía durante los períodos de baja demanda para usarla después durante los períodos de alta demanda, o durante los períodos de baja producción de los generadores intermitentes, acarrearía grandes beneficios al equilibrado de la red y proporcionaría un suministro seguro.

25

[0003] Los dispositivos de almacenamiento de energía constan de tres fases o etapas de funcionamiento: carga, almacenamiento y descarga. Los dispositivos de almacenamiento de energía generan o producen electricidad (descarga) de forma muy intermitente cuando hay una escasez en la capacidad de producción de la red de transmisión y distribución. Algunos fenómenos que pueden indicar esto al operador del dispositivo de almacenamiento son el alto precio de la electricidad en el mercado eléctrico local o los requerimientos del organismo responsable del funcionamiento de la red para contar con una capacidad adicional. En algunos países, como el Reino Unido, el operador de la red firma contratos para el suministro de reservas de apoyo para la red con diversos operadores de plantas de energía con una capacidad de inicio rápido. Estos contratos pueden abarcar meses e incluso años, pero, normalmente, el tiempo en el que el proveedor de energía estará trabajando -generando energía- es muy corto. Además, un dispositivo de almacenamiento puede proporcionar un servicio adicional al proveer cargas adicionales en los momentos de sobreabundancia o suministro excesivo de energía a la red por parte de los generadores renovables intermitentes. A menudo, la velocidad del viento es alta durante la noche cuando la demanda es baja. El operador de la red debe encontrar una demanda adicional de la red para utilizar el exceso de suministro -mediante precios de energía bajos o contratos específicos con los consumidores- o bien reducir el suministro de energía de otras centrales o de los parques eólicos. En algunos casos, sobre todo en los mercados en los que se subvencionan los generadores eólicos, el operador de la red deberá pagar a los operadores del parque eólico para que 'apaguen' el parque eólico. Un dispositivo de almacenamiento ofrece al operador de la red una carga adicional útil que puede usarse para equilibrar la red en los momentos de exceso de suministro.

[0004] Los siguientes factores son importantes para que un dispositivo de almacenamiento sea comercialmente viable: gastos de capital por MW (capacidad de potencia o capacidad eléctrica), MWh (capacidad energética), la eficiencia del ciclo de ida y vuelta y la vida útil que puede esperarse a partir de la inversión inicial respecto a los diversos ciclos de carga y descarga. En el caso de las aplicaciones con una amplia escala de utilidad, también es importante que el dispositivo de almacenamiento no tenga restricciones o limitaciones geográficas -puede construirse en cualquier parte; especialmente, cerca de un punto con una demanda alta o cerca de una fuente de intermitencia o un 'cuello de botella' en la red de transmisión y distribución-.

[0005] Una tecnología relacionada con los dispositivos de almacenamiento es el almacenamiento de energía que usa productos criogénicos como aire líquido o nitrógeno (denominado 'almacenamiento criogénico de energía' o CES, por sus siglas en inglés), que ofrece diversas ventajas en el mercado. A grandes rasgos, en la fase de carga un sistema CES utilizaría electricidad excedente o de bajo coste -en los períodos de baja demanda o exceso de suministro por parte de los generadores renovables intermitentes- para licuar un fluido de trabajo como aire o nitrógeno. Después se guarda o almacena en forma de fluido criogénico en un tanque de almacenamiento y, posteriormente, se libera para mover una turbina, produciendo electricidad durante la fase de descarga o recuperación de energía en los períodos de alta demanda o de suministro insuficiente por parte de los generadores renovables intermitentes.

[0006] Los sistemas de almacenamiento criogénico de energía (o sistemas CES) tienen varias ventajas respecto a otras tecnologías del mercado, y una de ellas es que se basan en procesos consolidados y demostrados. Los medios para licuar el aire, necesarios en la fase de carga, existen desde hace más de un siglo; los primeros sistemas utilizaban un ciclo de Linde simple en el que el aire ambiental se comprime por encima de una presión

65

crítica (≥ 38 bares) y se enfría progresivamente hasta una temperatura baja antes de que experimente una expansión isentálpica por medio de un dispositivo de expansión como una válvula Joule-Thomson para producir líquido. Al presurizar el aire por encima de un umbral crítico, este desarrolla unas características únicas y el potencial para producir grandes cantidades de líquido durante la expansión. El líquido se drena y la parte restante de aire gaseoso y frío se usa para enfriar la corriente cálida entrante. La cantidad de líquido producida depende de la cantidad necesaria de vapor frío y siempre conlleva un bajo rendimiento específico.

[0007] Una evolución de este proceso es el ciclo de Claude (cuya última tecnología relacionada se muestra en la Figura 4); en líneas generales, el proceso es el mismo que el del ciclo de Linde, pero una o más corrientes 36, 39 se separan de la corriente principal del proceso 31, de manera que se expanden adiabáticamente mediante las turbinas 3,4, lo que da como resultado una temperatura más baja para un ratio de expansión determinado en comparación con un proceso isentálpico y, por lo tanto, un enfriamiento eficiente. Después, el aire expandido mediante las turbinas 3, 4 se junta de nuevo con la corriente de retorno 34 y ayuda a enfriar la corriente de alta presión 31 junto con el intercambiador de calor 100. De forma similar al ciclo de Linde, la mayor parte del líquido se forma mediante la expansión a través de un dispositivo de expansión como una válvula Joule-Thomson 1. La principal mejora que conlleva el proceso de Claude es que la energía producida por las turbinas de expansión 3, 4 reduce directa o indirectamente el consumo total de energía, lo que da como resultado una mayor eficiencia energética.

[0008] Normalmente, los procesos de licuefacción o licuación del aire más modernos y eficientes utilizan un diseño de Claude con dos turbinas y, a escalas comerciales, normalmente pueden alcanzar unas cifras de trabajo específico de alrededor de 0,4 kWh/kg. A pesar de ser muy eficiente, esto no permitiría que un sistema CES consiguiera unas cifras de 'Eficiencia de ida y vuelta' de un 50% en su entrada al mercado sin una reducción significativa del trabajo específico.

[0009] Para obtener una mayor eficiencia, el proceso de licuefacción de un sistema CES completamente integrado, como el que se desvela en WO2007-096656A1, utiliza la energía fría que se captura en la evaporación de los productos criogénicos durante la fase de recuperación de energía. Sin embargo, y con la misma facilidad, la fuente de energía fría puede extraerse de un proceso externo, como un proceso realizado de forma adyacente al sistema CES. En algunos casos, resulta particularmente beneficioso utilizar la energía fría de un proceso externo que se considera sobrante.

[0010] Uno de estos procesos externos que pueden utilizarse en un sistema CES es el proceso de regasificación de gas natural licuado (o GNL). Un sistema CES podría utilizar la corriente fría sobrante que a menudo se expulsa de manera continua de una terminal de regasificación de GNL durante la producción de líquido. Esto resulta particularmente ventajoso si la terminal de regasificación es adyacente al sistema CES. Este uso de la corriente fría anula potencialmente la necesidad de que la energía fría se almacene en un depósito térmico integrado como el que se detalla en GB 1115336.8. En lugar de ello, esta energía fría puede usarse inmediatamente durante la fase de carga para proporcionar un enfriamiento adicional a la corriente principal del proceso en el proceso de licuefacción.

[0011] En la Figura 5 (Figure 5) se muestra un sistema ejemplar. En este caso, la corriente principal del proceso (31, 35) se comprime hasta una presión elevada, preferiblemente al menos la presión crítica (que, en el caso del aire, es de 38 bares) y, más preferiblemente, hasta 56 bares, a temperatura ambiente ($\approx 298\text{k}$ o $24,85^\circ\text{C}$). La corriente entra por una válvula o entrada (31), desde ahí se hace pasar por un paso o canal (35) del intercambiador de calor (100), y se enfría de forma progresiva mediante la corriente de retorno de baja presión (41) y el fluido de transferencia de calor del circuito de recuperación de frío debido a su proximidad al paso (52). El fluido de transferencia de calor (FTC o HTF, por sus siglas en inglés) del circuito de recuperación de frío puede estar compuesto de un gas o un líquido a alta o baja presión. No obstante, se prefiere un gas, como el nitrógeno. El FTC del circuito de recuperación de frío puede sustituirse por un flujo directo de la fuente fría, como GNL.

[0012] Normalmente, el circuito de recuperación de frío se compone de un medio de circulación (5), como un soplador mecánico, y un primer intercambiador de calor (101) además del segundo intercambiador de calor (100). En el caso ejemplar, se hace circular el FTC por el circuito de recuperación de frío mediante el soplador mecánico (o un medio similar de circulación) y entra en el intercambiador de calor (101) a entre $9,85$ y $-43,15^\circ\text{C}$ (283 - 230k). El FTC se desplaza por el intercambiador de calor (101) y se enfría de forma progresiva antes de salir a entre $-165,15$ y $-153,15^\circ\text{C}$ (108 - 120k). Después, el FTC se dirige al intercambiador de calor (100) a través del paso (52), donde proporciona enfriamiento a la corriente de gas de alta presión debido a su proximidad al paso (52).

[0013] Una parte o proporción de la corriente principal de alta presión del proceso (35), que ahora tiene una temperatura de entre $-123,15$ y $-103,15^\circ\text{C}$ (150 - 170k), se separa de la corriente principal del proceso (35) y se expande (por ejemplo, entre 1 y 5 bares) mediante una turbina de expansión (4).

[0014] La parte separada sale de la turbina de expansión (4) y entra en un separador de fases (2), desde donde la fracción de vapor gaseosa (normalmente, $\approx 96\%$) se hace pasar a través del intercambiador de calor (100). La energía térmica fría se transfiere desde la fracción de vapor gaseosa hasta la corriente principal de alta presión del proceso (35) en el intercambiador (100) debido a la proximidad de la corriente principal del proceso (35) al paso (41). El $\approx 4\%$ restante se recoge mediante la corriente (33) en forma de líquido.

5 [0015] La corriente de gas principal del proceso sale del intercambiador de calor (100) a aproximadamente 55-56 bares y $-176,15^{\circ}\text{C}$ (97k) y se expande mediante la válvula Joule-Thomson (1) u otro medio de expansión. Esto produce el habitual compuesto de la corriente con una fracción líquida de un 96% que se dirige al separador de fases (2). La fracción líquida se recoge mediante la corriente (33) y la fracción de vapor se expulsa mediante el paso (41).

10 [0016] El gas natural licuado puede guardarse a -160°C en un tanque de baja presión de gran volumen. En las terminales de importación de GNL de Gran Bretaña, incluyendo las que se conocen como Dragon y South Hook, en Milford Haven, Reino Unido, se proporcionan tanques ejemplares. En estas terminales normalmente se utiliza agua de mar como fluido de calentamiento para regasificar el GNL, y la energía fría resultante simplemente se disipa como un residuo. Sin embargo, si la energía fría se aprovecha y se recicla en el proceso de licuefacción, el consumo eléctrico puede reducirse potencialmente hasta dos tercios. Este método se ha adoptado en el diseño de licuefactores de nitrógeno, por ejemplo, y algunos de estos están en funcionamiento en las terminales de importación de GNL de Japón y Corea.

15 [0017] En la Figura 1 (Figure 1) se muestra el cambio necesario de entalpía que debe experimentar una corriente de alta presión arbitraria del proceso para alcanzar la temperatura requerida a fin de maximizar la producción de líquido cuando se expande mediante un dispositivo de expansión como una válvula Joule-Thomson. De manera similar, una corriente de enfriamiento típica ideal debe experimentar un cambio de entalpía durante el proceso, tal y como muestra el perfil de la Figura 2 denominado 'No Cold Recycle' ('sin reciclado de frío'). El segundo perfil de la Figura 2 muestra el cambio drástico en el enfriamiento necesario (es decir, el cambio relativo de entalpía) cuando se introducen en el sistema grandes cantidades de reciclado de frío, denominado 'Cold Recycle' ('reciclado de frío'). La Figura 2 muestra las cantidades de reciclado de frío en la región de 250kJ/kg (definido como la entalpía de enfriamiento por kg de producto líquido distribuido), que es consistente con los niveles de reciclado de frío utilizados en un sistema de energía criogénica completamente integrado como el que se desvela en WO2007-096656A1. La Figura 2 pone de manifiesto que la adición del reciclado de frío satisface por completo las necesidades de enfriamiento en el extremo de mayor temperatura del proceso. El uso de una corriente fría sobrante externa -como la del proceso de regasificación de GNL- en lugar de la corriente de 'reciclado de frío' presenta una curva similar de enfriamiento resultante. A pesar de la gran cantidad de energía fría disponible (en comparación con el sistema de 'reciclado de frío' que se desvela en WO2007-096656A1, por ejemplo), el frío no tiene la calidad suficiente para proporcionar enfriamiento en el extremo inferior del proceso. El documento EP1469265 A1 está relacionado con un dispositivo de licuefacción criogénico que incluye un circuito de recuperación de frío (un circuito cerrado que se enfría mediante GNL y una corriente gaseosa de enfriamiento en un intercambiador de calor separado) y que utiliza un primer fluido de transferencia de calor e incluye un circuito refrigerante que utiliza un segundo fluido de transferencia de calor.

20 [0018] Esto presenta un problema, ya que los actuales procesos de licuefacción de última tecnología están diseñados para usarse con unos perfiles de energía térmica más progresivos, y funcionan de una manera mucho más efectiva con una sola corriente de enfriamiento que recorre todo el intercambiador de calor. Tal y como puede observarse en la Figura 3, la corriente de enfriamiento efectiva que producen los actuales procesos de última tecnología (que se indica mediante el perfil 'state of the art', o 'estado de la técnica'), como el ciclo de Claude que se muestra en la Figura 4, es extremadamente lineal en comparación con el perfil requerido en un sistema que utiliza grandes cantidades de reciclado de frío (que se indica mediante el perfil 'Ideal Profile', o 'perfil ideal'), y apenas coincide con este. Para satisfacer la crucial demanda de enfriamiento en el extremo de temperatura más bajo, un proceso de última tecnología típico debe expandir una cantidad similar de aire -a través de la turbina de frío- a la de un sistema sin reciclado de frío. Esto da como resultado una eficiencia pobre y unos requisitos de transferencia de calor por encima del nivel de diseño máximo del dispositivo de los intercambiadores de calor del proceso.

25 [0019] Los autores de la presente invención han descubierto que existe una necesidad de contar con un sistema que pueda proporcionar un enfriamiento centrado y no progresivo a zonas o áreas concentradas del proceso, y en particular al extremo inferior de temperatura del proceso.

Resumen de la invención

30 [0020] La presente invención proporciona un dispositivo de licuefacción criogénico de acuerdo con la reivindicación 1 y un método para equilibrar el proceso de licuefacción de acuerdo con la reivindicación 9.

[0021] En las reivindicaciones subordinadas se describen otras realizaciones preferidas adicionales.

35 [0022] En el contexto de la presente invención, la expresión 'dirección de contraflujo' significa que el primer fluido de transferencia de calor (FTC o HTF, por sus siglas en inglés) y/o el segundo fluido de transferencia de calor fluyen por el primer intercambiador de calor en dirección opuesta a la corriente presurizada de gas, al menos durante una parte de su recorrido a través del intercambiador de calor. El primer fluido de transferencia de calor y/o el segundo fluido de transferencia de calor y la corriente presurizada de gas pueden entrar en el intercambiador de calor por extremos opuestos, es decir, de manera que se maximiza la diferencia de temperatura entre los puntos de entrada de los respectivos fluidos. De manera alternativa, el primer fluido de transferencia de calor y/o el segundo fluido de

transferencia de calor y la corriente presurizada de gas pueden entrar en el intercambiador de calor por un punto situado entre los extremos del intercambiador de calor, pero pueden fluir a través del intercambiador de calor en dirección opuesta al resto, al menos durante una parte de su recorrido a través del intercambiador de calor.

5 **[0023]** El fluido de transferencia de calor del circuito de recuperación de frío y/o el circuito refrigerante puede estar compuesto de un líquido o un gas a baja presión o alta presión.

[0024] La corriente presurizada de gas (o corriente de gas a presión), es decir, la corriente del proceso, puede estar compuesta de aire gaseoso a una presión superior a la presión crítica (por ejemplo, ≥ 38 bares).

10 **[0025]** La presente invención ofrece una mayor eficiencia debido a que la corriente presurizada de gas (esto es, la corriente del proceso) se enfría por completo usando circuitos refrigerantes y de recuperación de frío separados. En particular, el uso de un circuito refrigerante y un circuito de recuperación de frío que están separados permite utilizar mayores cantidades de energía fría en el enfriamiento de la corriente presurizada de gas en comparación con un circuito de recuperación de frío por sí solo.

15 **[0026]** Asimismo, la eficiencia de la presente invención mejora aún más en comparación con los dispositivos de la técnica anterior, ya que la tasa de flujo -o ritmo de flujo- de la corriente presurizada de gas (esto es, la corriente del proceso) puede reducirse porque no se necesita reciclar la corriente del proceso para el enfriamiento.

20 **[0027]** Tal y como se ha explicado anteriormente, en el contexto de la presente invención, la expresión 'dirección de contraflujo' significa que la primera corriente fría de gas y/o la segunda corriente fría de gas fluyen por el segundo intercambiador de calor y/o el tercer intercambiador de calor, respectivamente, en dirección opuesta al primer fluido de transferencia de calor y/o el segundo fluido de transferencia de calor, respectivamente, al menos durante una parte de su recorrido a través del segundo intercambiador de calor y/o el tercer intercambiador de calor, respectivamente.

25 **[0028]** La primera y la segunda corriente fría de gas pueden ser la misma corriente fría de gas. Esto es, el cuarto grupo -o disposición- de conductos y el quinto grupo -o disposición- de conductos pueden ser el mismo grupo de conductos (es decir, estar conectados). Asimismo, el segundo intercambiador de calor y el tercer intercambiador de calor pueden ser el mismo intercambiador de calor.

30 **[0029]** En algunas realizaciones, el circuito de recuperación de frío también comprende un medio para hacer circular el primer fluido de transferencia de calor a través del segundo grupo de conductos. Por ejemplo, el segundo grupo de conductos puede estar dispuesto de tal manera que el primer fluido de transferencia de calor se dirige a través del medio de circulación del fluido de transferencia de calor antes de pasar a través del primer intercambiador de calor. El medio de circulación del primer fluido de transferencia de calor puede ser un ventilador o soplador mecánico.

35 **[0030]** En algunas realizaciones, el circuito refrigerante también comprende un dispositivo de compresión. En estas realizaciones, el tercer grupo de conductos está dispuesto de tal manera que el segundo fluido de transferencia de calor se dirige a través del dispositivo de compresión antes de pasar a través del tercer intercambiador de calor.

40 **[0031]** En algunas realizaciones, el circuito refrigerante también comprende una turbina de expansión. En estas realizaciones, el tercer grupo de conductos está dispuesto de tal manera que el segundo fluido de transferencia de calor se dirige a través de la turbina de expansión antes de pasar a través del primer intercambiador de calor.

[0032] El dispositivo de expansión puede ser una válvula Joule-Thomson.

45 **[0033]** Preferiblemente, el segundo grupo de conductos está situado de forma adyacente al primer grupo de conductos, en una primera zona o región del primer intercambiador de calor, y, más preferiblemente, el tercer grupo de conductos está situado de forma adyacente al primer grupo de conductos, en una segunda zona o región del primer intercambiador de calor. En este caso, la segunda región puede estar más cerca del dispositivo de expansión -en la dirección del flujo- que la primera región. En estos casos, la corriente presurizada de gas puede dirigirse a través del primer intercambiador de calor de manera que fluya por las cercanías del circuito de recuperación de frío antes de fluir por las cercanías del circuito refrigerante.

Breve descripción de las ilustraciones

50 **[0034]** Ahora describiremos las realizaciones de la presente invención tomando como referencia las figuras, de manera que:

La Figura 1 (Figure 1) muestra un perfil del cambio relativo en la entalpía total que el gas del proceso experimenta durante el proceso de enfriamiento (cambio relativo de entalpía total vs. temperatura del gas del proceso).

65

La Figura 2 muestra los perfiles del cambio relativo en la entalpía total que las corrientes de enfriamiento deben experimentar durante el proceso de enfriamiento en el caso de los sistemas en los que se usan y no se usan grandes cantidades de reciclado de frío (cambio relativo de entalpía total vs. temperatura del gas del proceso).

La Figura 3 muestra los perfiles del cambio relativo en la entalpía total que las corrientes de enfriamiento deben experimentar durante el proceso de enfriamiento en el caso de los sistemas 'ideales' y 'del estado de la técnica' (o de última tecnología) en los que se usan grandes cantidades de reciclado de frío (cambio relativo de entalpía total vs. temperatura del gas del proceso).

La Figura 4 muestra la disposición típica de una planta de licuefacción de aire de última tecnología.

La Figura 5 muestra un esquema de un proceso de licuefacción de un sistema de energía criogénico, de manera que el 'circuito de recuperación de frío' utiliza la disposición típica de una planta de licuefacción de aire de última tecnología; y

La Figura 6 muestra un esquema de un proceso de licuefacción de un sistema de energía criogénico de acuerdo con una primera realización de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

[0035] En la Figura 6 se muestra la primera realización -simplificada- de la presente invención. El sistema de la Figura 6 es similar al de la disposición convencional que se muestra en la Figura 5, ya que una corriente presurizada de gas (la corriente de gas principal del proceso -31, 35-) se enfría hasta una temperatura determinada utilizando la energía fría recuperada de una corriente de GNL (60), y después se proporciona un enfriamiento adicional antes de expandir la corriente (31, 35) mediante una válvula Joule-Thomson (1) para producir aire líquido.

[0036] Sin embargo, si bien el enfriamiento adicional de la disposición que se muestra en la Figura 5 se proporciona mediante una parte o porción de la propia corriente de gas principal del proceso (31, 35), el enfriamiento adicional de la realización de la Figura 6 de acuerdo con la presente invención se proporciona mediante la energía fría recuperada de una corriente de GNL (80) del circuito refrigerante (140). La corriente de GNL (80) que se usa en el circuito refrigerante (140) puede ser la misma corriente que la corriente de GNL (60) que se usa en el circuito de recuperación de frío (120) o puede ser una corriente diferente. De manera similar, el intercambiador de calor (102) que se usa en el circuito refrigerante (140) puede ser el mismo intercambiador de calor (101) que se usa en el circuito de recuperación de frío (120) o puede ser un intercambiador de calor diferente.

[0037] En la primera realización, la principal corriente gaseosa del proceso (31, 35) se comprime hasta una presión elevada, preferiblemente al menos la presión crítica (que, en el caso del aire, es de 38 bares) y, más preferiblemente, hasta 56 bares, a temperatura ambiente ($\approx 298\text{k}$ o $24,85^\circ\text{C}$). La principal corriente gaseosa del proceso (31, 35) entra por una válvula o entrada (31), desde ahí se hace pasar por un primer intercambiador de calor (100), y se enfría de forma progresiva mediante el fluido de transferencia de calor (FTC) del circuito de recuperación de frío (120) que pasa por el paso (52). El FTC del circuito de recuperación de frío (120) puede estar compuesto de un gas o un líquido a alta o baja presión. En el caso preferido, se usa un gas, como nitrógeno, a una presión de 5 bares.

[0038] El circuito de recuperación de frío (120) comprende un medio de circulación (5), como un soplador o aventador mecánico. También se proporciona un segundo intercambiador de calor (101) además del primer intercambiador de calor (100) que se ha descrito previamente. Se hace circular el FTC por el circuito de recuperación de frío mediante el soplador mecánico y entra en el segundo intercambiador de calor (101) a $-88,15^\circ\text{C}$ (185k). El FTC se enfría de forma progresiva debido a su proximidad a la corriente sobrante de GNL (60) que pasa a través del primer intercambiador de calor, y sale del segundo intercambiador de calor a alrededor de $-150,15^\circ\text{C}$ (123k). Después, el FTC se dirige al primer intercambiador de calor (100) y pasa a través de este mediante el paso (52), proporcionando enfriamiento a la principal corriente gaseosa de alta presión del proceso (31, 35) debido a su proximidad al paso (52).

[0039] En el punto (35), la principal corriente gaseosa del proceso (31, 35) se ha enfriado hasta una temperatura de entre $-163,15$ y $-138,15^\circ\text{C}$ (110 - 135k), pero preferiblemente $-149,15^\circ\text{C}$ (124k), y sigue pasando a través del primer intercambiador de calor (100), en el que sigue enfriándose de forma progresiva mediante el FTC del circuito refrigerante (140) que pasa por el paso (71), tal y como se describe con más detalle más adelante.

[0040] El uso de un circuito refrigerante (140) en la presente invención permite una mayor utilización de energía fría de menor calidad para proporcionar energía fría de alta calidad, algo que hasta el momento se ha llevado a cabo expandiendo una parte o proporción de la principal corriente gaseosa de alta presión del proceso, como en el sistema convencional que se muestra en la Figura 5.

[0041] Además del primer intercambiador de calor (100), el circuito refrigerante (140) se compone de un compresor

(7), un tercer intercambiador de calor (102) y un extensor o expansor (6). El circuito refrigerante (140) contiene un FTC que puede estar compuesto de un gas o un líquido a alta presión o baja presión. No obstante, en el caso preferido se usa un gas, como nitrógeno, a una presión de entre 1,4 y 7 bares. En el punto 72, el FTC está a una temperatura de $-151,15^{\circ}\text{C}$ (122k) y a una presión de 1,4 bares. El FTC se comprime mediante el compresor (7) hasta tener una mayor presión (por ejemplo, entre 5 bares y 10 bares, pero preferiblemente 7 bares). El FTC sale del compresor (7) a una temperatura de $-67,15^{\circ}\text{C}$ (206k) antes entrar en el tercer intercambiador de calor (102), donde se enfría de forma progresiva debido a su proximidad a la corriente sobrante de GNL (80) que pasa a través del tercer intercambiador de calor. Después, el FTC entra en el expansor (6) a una presión de 6,9 bares y una temperatura de $-150,15^{\circ}\text{C}$ (123k), donde se expande hasta alcanzar 1,5 bares y $-189,15^{\circ}\text{C}$ (84k). Después, el FTC entra en el primer intercambiador de calor (100), donde atraviesa el paso (71), proporcionando enfriamiento a la principal corriente gaseosa de alta presión del proceso (31, 35) debido a su proximidad.

[0042] El hecho de utilizar nitrógeno como FTC tanto en el circuito de recuperación de frío como en el circuito refrigerante de la presente invención proporciona un nivel de aislamiento entre la fuente de frío -potencialmente peligrosa- y el gas del proceso, que en el caso preferido es GNL y aire gaseoso que contiene oxígeno.

[0043] Por último, la corriente de gas principal del proceso (31, 35) sale del primer intercambiador de calor (100) a aproximadamente 55-56 bares y $-176,15^{\circ}\text{C}$ (97k) y se expande mediante una válvula Joule-Thomson (1) (u otro medio o dispositivo de expansión), produciendo el habitual compuesto de una corriente de salida con una fracción líquida de $>95\%$ (de forma óptima, $>98\%$), que se dirige al separador de fases (2). La fracción líquida se recoge mediante la corriente (33) y la fracción de vapor se expulsa mediante el (34).

[0044] Naturalmente, debe entenderse que la presente invención se ha ofrecido a modo de ejemplo, y que pueden realizarse modificaciones de diversos detalles dentro del alcance de la invención, tal y como queda definido o delimitado en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de licuefacción criogénico, que comprende:

- 5 un primer intercambiador de calor (o intercambiador térmico) (100);
 un separador de fases (2);
 un dispositivo de expansión (1);
 un primer grupo -o disposición- de conductos, que está dispuesto de tal manera que una corriente presurizada de gas (31, 32, 35) se guía o dirige a través del primer intercambiador de calor (100), el
 10 dispositivo de expansión (1) y el separador de fases (2);
 un circuito de recuperación de frío (120) que incluye un primer fluido de transferencia de calor (FTC o HTF, por sus siglas en inglés) y un segundo grupo de conductos, que está dispuesto de tal manera que el primer fluido de transferencia de calor se dirige a través del primer intercambiador de calor (100) en una dirección de
 15 contraflujo respecto a la corriente presurizada de gas (31, 32, 35); y
 un circuito refrigerante (140) que incluye un segundo fluido de transferencia de calor y un tercer grupo de conductos, que está dispuesto de tal manera que el segundo fluido de transferencia de calor se dirige a través del primer intercambiador de calor (100) en una dirección de contraflujo respecto a la corriente presurizada de gas (31, 32, 35);
 20 de manera que:
 el segundo grupo de conductos y el tercer grupo de conductos forman -cada uno- un circuito presurizado cerrado,
 el circuito de recuperación de frío (120) comprende, además, un segundo intercambiador de calor (101) y un cuarto grupo de conductos que está dispuesto de tal manera que una primera corriente de
 25 gas natural licuado (GNL o LNG, por sus siglas en inglés), o una primera corriente sobrante (60) de un proceso de regasificación de gas natural licuado (GNL), se dirige a través del segundo intercambiador de calor (101);
 el segundo grupo de conductos está dispuesto de tal manera que el primer fluido de transferencia de calor se dirige a través del segundo intercambiador de calor (101) en una dirección de contraflujo
 30 respecto a la primera corriente de GNL o la primera corriente sobrante (60);
 el circuito refrigerante (140) comprende, además, un tercer intercambiador de calor (102) y un quinto grupo de conductos que está dispuesto de tal manera que una segunda corriente de gas natural licuado (GNL), o una segunda corriente sobrante (80) de un proceso de regasificación de gas natural licuado (GNL), se dirige a través del tercer intercambiador de calor (102); y de manera que:
 35 el tercer grupo de conductos está dispuesto de tal manera que el segundo fluido de transferencia de calor se dirige a través del tercer intercambiador de calor (102) en una dirección de contraflujo respecto a la segunda corriente de GNL o la segunda corriente sobrante (80).
- 40 **2.** El dispositivo de licuefacción criogénico de la reivindicación 1, de manera que el segundo intercambiador de calor y el tercer intercambiador de calor (101, 102) son el mismo intercambiador de calor; y/o de manera que el cuarto grupo de conductos y el quinto grupo de conductos son el mismo grupo de conductos, y la primera corriente fría de gas y la segunda corriente fría de gas (60, 70) son la misma corriente fría de gas.
- 45 **3.** El dispositivo de licuefacción criogénico de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, de manera que está configurado de tal modo que la corriente de salida del dispositivo de expansión (1) tiene una fracción líquida de al menos un 95%.
- 50 **4.** El dispositivo de licuefacción criogénico de la reivindicación 3, de manera que está configurado de tal modo que la corriente presurizada de gas (31, 32, 35) sale del primer intercambiador de calor (100) a una presión de entre 55 y 56 bares y a una temperatura de -176,15° C (97k).
- 55 **5.** El dispositivo de licuefacción criogénico de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, de manera que el circuito de recuperación de frío (120) también comprende un medio para hacer circular el primer fluido de transferencia de calor a través del segundo grupo de conductos, por ejemplo un soplador o aventador mecánico (5).
- 60 **6.** El dispositivo de licuefacción criogénico de la reivindicación 5, de manera que el segundo grupo de conductos está dispuesto de tal modo que el primer fluido de transferencia de calor se dirige a través del medio para hacer circular el fluido de transferencia de calor antes de dirigirse a través del primer intercambiador de calor (101).
- 65 **7.** El dispositivo de licuefacción criogénico de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, de manera que el circuito refrigerante (140) también comprende un dispositivo de compresión (7) y/o una turbina de expansión (6), y de manera que el tercer grupo de conductos está dispuesto de tal modo que el segundo fluido de transferencia de calor se dirige a través de:
 i) el dispositivo de compresión (7) antes de dirigirse a través del tercer intercambiador de calor (102); y/o

ii) la turbina de expansión (6) antes de dirigirse a través del primer intercambiador de calor (100).

8. El dispositivo de licuefacción criogénico de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, de manera que el segundo grupo de conductos está dispuesto de forma adyacente al primer grupo de conductos, en una primera zona o región del primer intercambiador de calor (100); y/o el tercer grupo de conductos está dispuesto de forma adyacente al primer grupo de conductos, en una segunda zona o región del primer intercambiador de calor (100); y, preferiblemente, de manera que la segunda región está más cerca del dispositivo de expansión (1) -en la dirección del flujo- que la primera región.

9. Un método para equilibrar un proceso de licuefacción usando el reciclado de frío de una fuente de energía térmica externa, que incluye:

dirigir una corriente presurizada de gas (31, 32, 35) a través de un primer intercambiador de calor (100), un dispositivo de expansión (1) y un separador de fases;

dirigir un primer fluido de transferencia de calor (FTC) de un circuito de recuperación de frío (120) a través del primer intercambiador de calor (100) en una dirección de contraflujo respecto a la corriente presurizada de gas (31, 32, 35); y

dirigir un segundo fluido de transferencia de calor de un circuito refrigerante (140) a través del primer intercambiador de calor (100) en una dirección de contraflujo respecto a la corriente presurizada de gas (31, 32, 35); de manera que:

el segundo grupo -o disposición- de conductos y el tercer grupo de conductos forman -cada uno- un circuito presurizado cerrado,

se dirige una primera corriente de gas natural licuado (GNL), o una primera corriente sobrante (60) de un proceso de regasificación de gas natural licuado (GNL), a través de un segundo intercambiador de calor (101); y

se dirige el primer fluido de transferencia de calor a través del segundo intercambiador de calor (101) en una dirección de contraflujo respecto a la primera corriente de GNL o la primera corriente sobrante (60);

se dirige una segunda corriente de gas natural licuado (GNL), o una segunda corriente sobrante (80) de un proceso de regasificación de gas natural licuado (GNL), a través de un tercer intercambiador de calor (102); y

se dirige el segundo fluido de transferencia de calor a través del tercer intercambiador de calor (102) en una dirección de contraflujo respecto a la segunda corriente de GNL o la segunda corriente sobrante (80).

10. El método de la reivindicación 9, de manera que el segundo intercambiador de calor y el tercer intercambiador de calor (101, 102) son el mismo intercambiador de calor; y/o de manera que la primera corriente fría de gas y la segunda corriente fría de gas (60, 70) son la misma corriente fría de gas.

11. El método para equilibrar un proceso de licuefacción de la reivindicación 9, que además incluye:

dirigir el segundo fluido de transferencia de calor a través de un medio para hacer circular el fluido de transferencia de calor antes de dirigirlo a través del primer intercambiador de calor (100); y, de manera opcional,

dirigir el segundo fluido de transferencia de calor a través de un dispositivo de compresión antes de dirigirlo a través del tercer intercambiador de calor (102); y, de manera opcional, dirigir el segundo fluido de transferencia de calor a través de una turbina de expansión (6) antes de dirigirlo a través del primer intercambiador de calor (100).

12. El método para equilibrar un proceso de licuefacción de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, de manera que el paso de dirigir la corriente presurizada de gas a través del primer intercambiador de calor (100) incluye dirigirla por el circuito de recuperación de frío (120) antes de dirigirla por el circuito refrigerante (140).

Figura 1

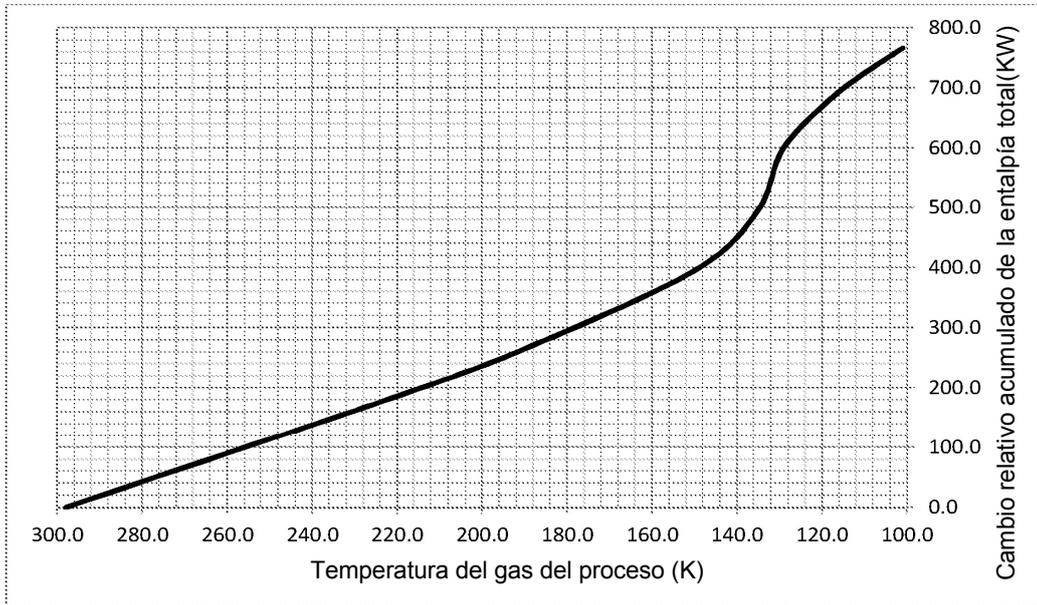


Figura 2

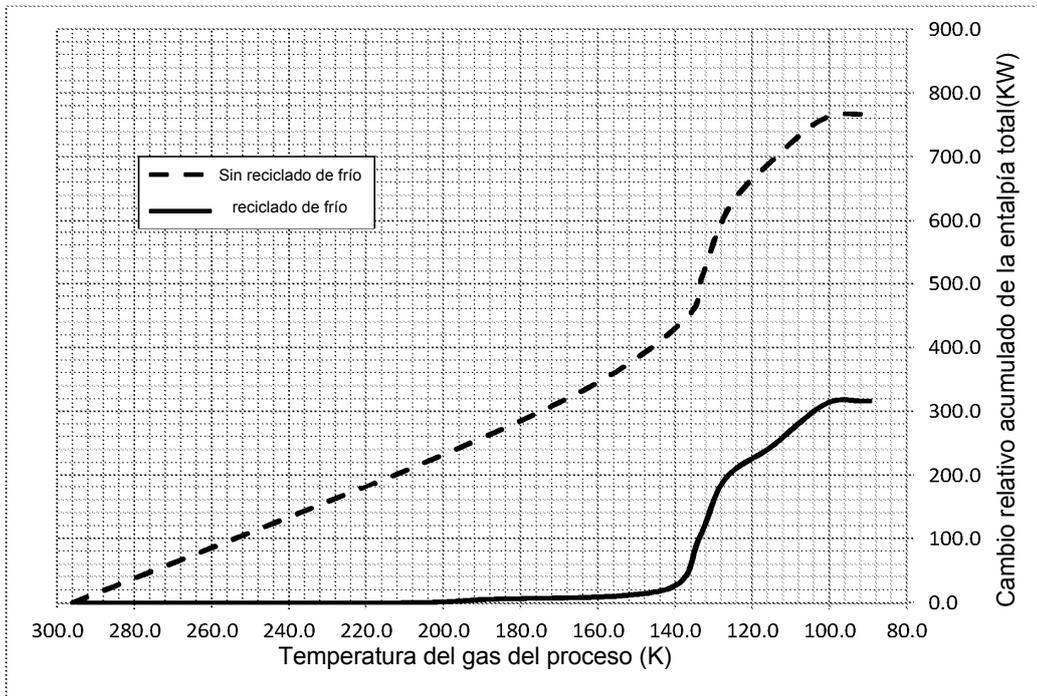


Figura 3

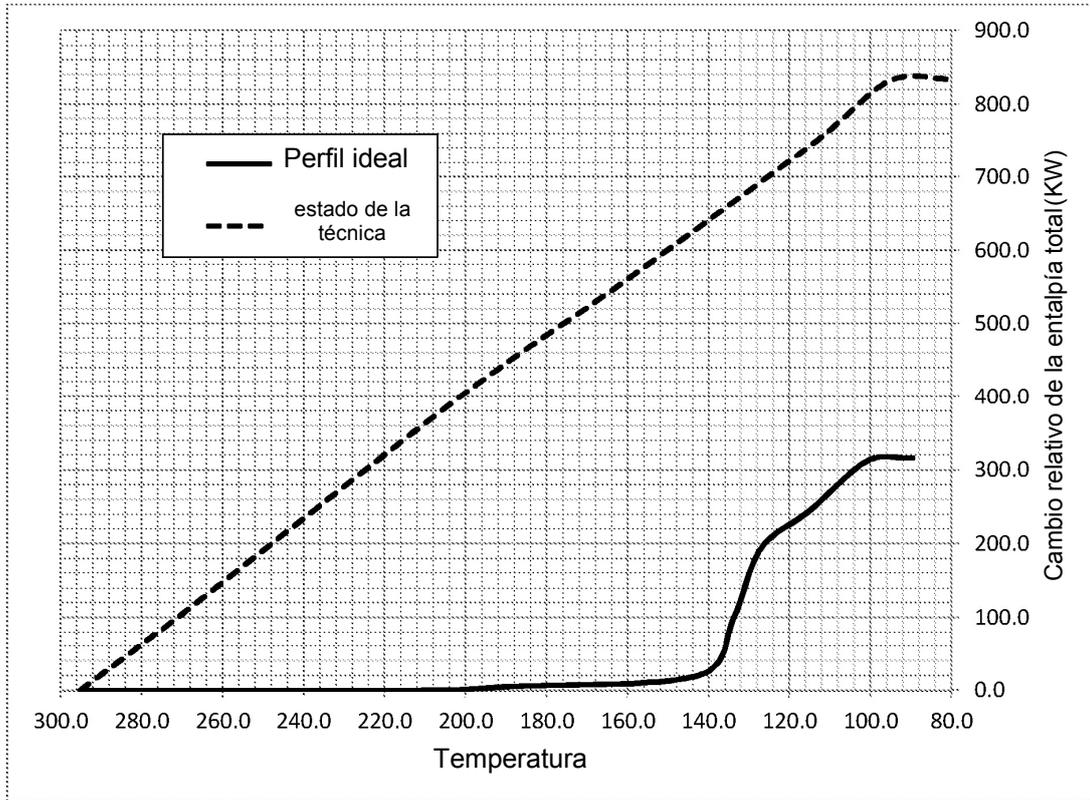
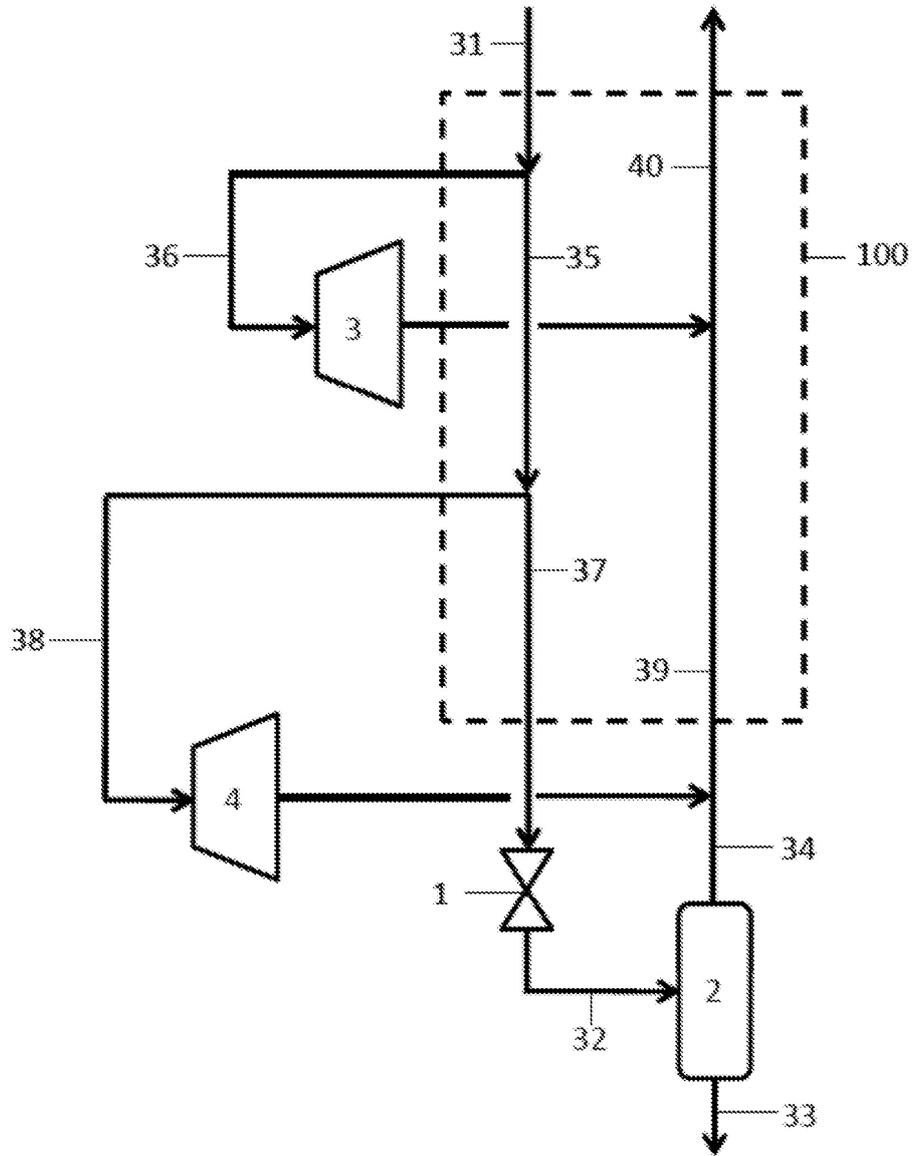


Figura 4



TÉCNICA
ANTERIOR

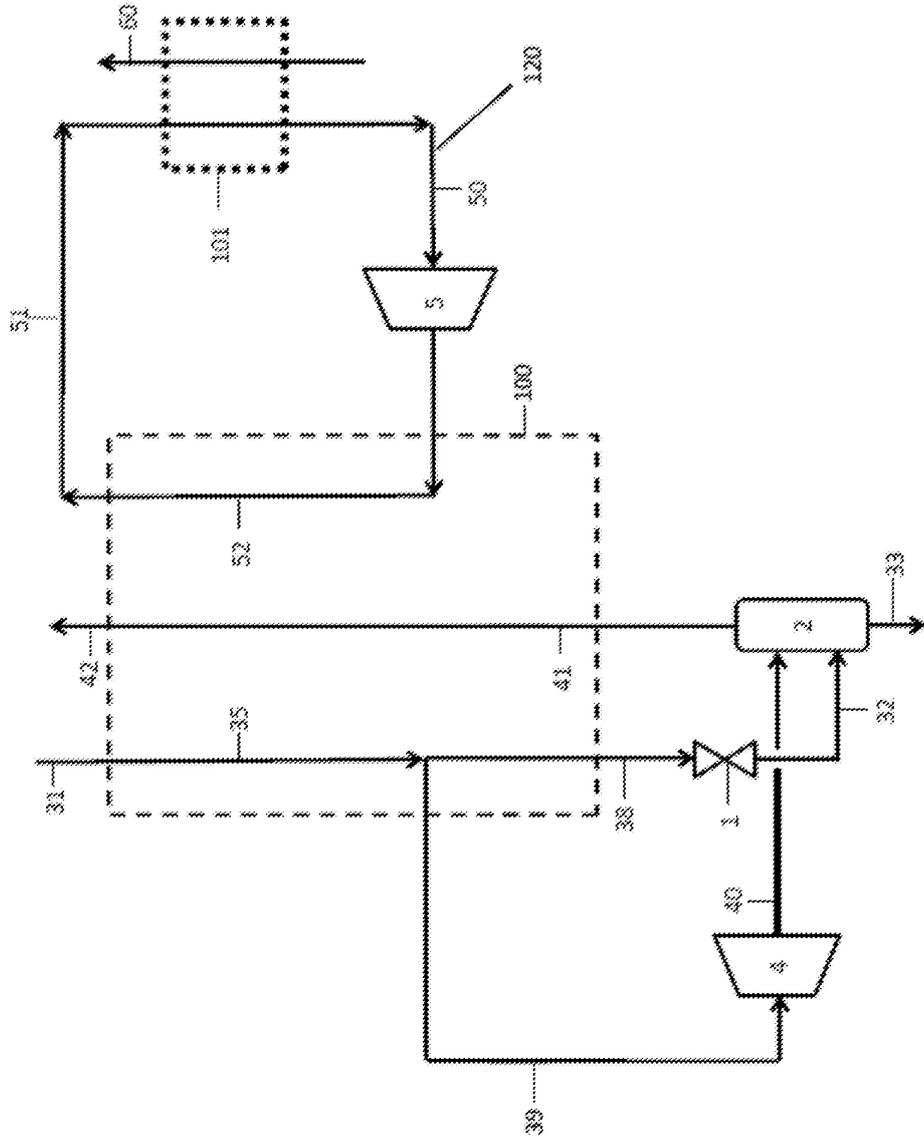


Figura 5

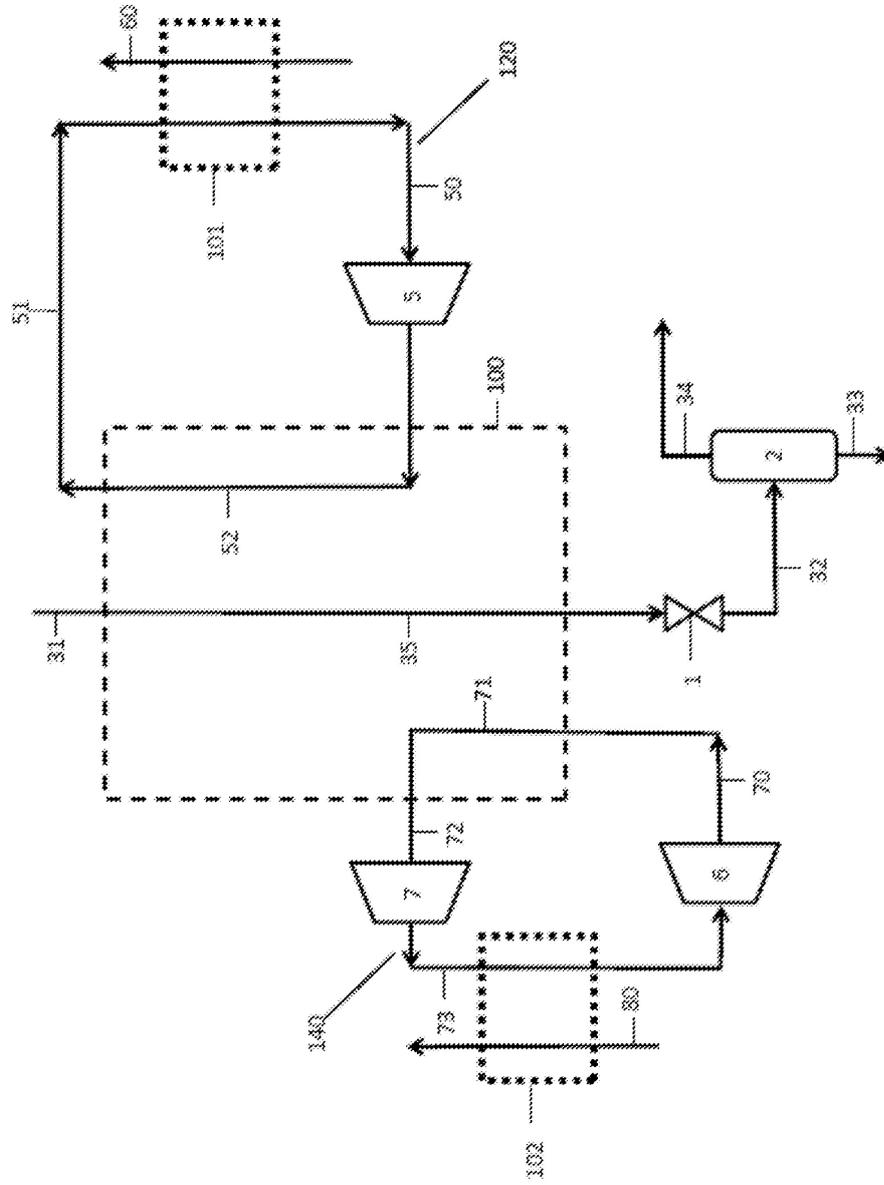


Figura 6