

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 634 765**

51 Int. Cl.:

F25J 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2013 PCT/EP2013/076745**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.07.2014 WO14102084**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2013 E 13811874 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.06.2017 EP 2938951**

54 Título: **Aparato y método para producir gas comprimido a baja temperatura o gas licuado**

30 Prioridad:

28.12.2012 JP 2012288262
15.04.2013 JP 2013085114

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.09.2017

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (100.0%)
75 quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**HIROSE, KENJI y
TOMITA, SHINJI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 634 765 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

Aparato y método para producir gas comprimido a baja temperatura o gas licuado

La presente invención se relaciona con un aparato y método para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura usando el frío de un gas natural licuado (al que también se hace referencia en adelante en este documento como "GNL"), y es particularmente útil como una técnica para licuar gas nitrógeno que se produce mediante un aparato separador o algo similar.

El gas natural (GN) se almacena como gas natural licuado (GNL) para facilidad de transporte y almacenamiento, o similar, y se usa principalmente para generación térmica de energía eléctrica o gas ciudad después de ser vaporizado. Entonces, se desarrolla una técnica de utilizar de manera efectiva el frío del GNL. Generalmente, como equipo para licuar gas nitrógeno o similar usando el frío del GNL, se usa un proceso tal que se comprime gas nitrógeno mediante un compresor hasta una presión tal que el gas nitrógeno puede licuarse mediante intercambio de calor con el GNL y, a continuación, el gas nitrógeno es sometido al intercambio de calor con el GNL en un cambiador de calor para vaporizar el GNL elevando la temperatura y para licuar el gas nitrógeno.

También con respecto a la energía eléctrica para accionar el compresor, la tarifa nocturna se fija para ser más baja que la tarifa diurna, de manera que se propone un proceso de licuefacción de gas para licuar de manera eficiente un gas al tiempo que se tiene en consideración la fluctuación de la cantidad de suministro del GNL anterior y la diferencia en la tarifa de energía eléctrica. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 7, se conoce un método de licuar un gas usando el frío del gas natural licuado mediante un proceso de licuefacción provisto de al menos un compresor de gas 101, al menos una turbina de expansión de gas 103 y un intercambiador de calor 102 para realizar el intercambio de calor entre el gas y el gas natural licuado, en el cual la turbina de expansión 103 antedicha es detenida u operada en una cantidad reducida cuando la cantidad de gas natural licuado suministrado aumenta, mientras que la turbina de expansión 103 antedicha es arrancada u operada en una cantidad aumentada cuando la cantidad del gas natural licuado suministrado se reduce (véase, por ejemplo, el documento de patente japonesa JP-A-05-45050).

Sin embargo, con un aparato para producir un fluido licuado a baja temperatura o similar tal como se describe arriba, en algunos casos ocurren varios problemas tales como los que siguen.

(i) La cantidad de GNL suministrado al proceso de licuefacción de gas puede, en general, fluctuar debido a la fluctuación en la demanda de generación térmica de energía eléctrica, gas ciudad o similar, y la cantidad de frío que puede usarse también puede fluctuar. Por lo tanto, hay una demanda para un aparato o un método mediante el cual el frío del GNL pueda ser usado de manera eficiente de forma que la cantidad de producción del fluido licuado o similar pueda no verse afectada incluso cuando la cantidad del GNL suministrado se reduzca.

(ii) Con el fin de presurizar un gas que tiene una temperatura normal y una presión normal en un proceso para producir un gas comprimido, se necesitarán la adición de un gran cantidad de energía y el frío para restringir la elevación de la temperatura del gas que acompaña la compresión. Al producir un gas comprimido para uso general que se consume en grandes cantidades, tales como gas nitrógeno, hay un gran problema para un uso eficiente del frío y una reducción de energía integral.

(iii) Con respecto a la temperatura a la cual un gas que tiene una presión normal empieza a ser licuado, la temperatura es alrededor de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el GNL, mientras que la temperatura es alrededor de $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el nitrógeno. Por ejemplo, en un proceso para licuar gas nitrógeno a una presión normal usando GNL como el frío, en un estado en el cual la licuefacción del nitrógeno ha comenzado, el GNL que está sometido a intercambio de calor con este nitrógeno está aún en un estado líquido que tiene un gran calor latente, de forma que, a la vista de este proceso en solitario, el frío del GNL no se usa suficientemente. También, no es necesariamente fácil el usar el frío del GNL residual para otros propósitos de forma que hay un gran problema para un uso eficiente de la energía incluyendo el frío del GNL en tal proceso de licuefacción.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un aparato y un método para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura que pueda usar de manera eficiente el frío del GNL y pueda reducir la energía que se necesita para producir el fluido comprimido a baja temperatura.

Los presentes inventores y otros han hecho estudios entusiastas con el fin de resolver los problemas mencionados anteriormente y, como resultado, han encontrado que el objeto antes mencionado puede conseguirse mediante un aparato y un método para producir un fluido comprimido a baja temperatura descrito más abajo, completando de este modo la presente invención.

El documento de patente de EE.UU. US-A-3183677 describe un aparato de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Un aparato para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura de acuerdo con la presente invención que usa un sistema de ciclo Rankine comprende: un primer dispositivo de compresión para comprimir adiabáticamente un medio de transferencia de calor; un primer intercambiador de calor para calentar a presión constante el medio de transferencia de calor comprimido adiabáticamente; un dispositivo de expansión para

expandir adiabáticamente el medio de transferencia de calor calentado; un segundo intercambiador de calor para enfriar a presión constante el medio de transferencia de calor expandido adiabáticamente; un primer paso de flujo para guiar el medio de transferencia de calor desde el segundo cambiador de calor hasta el primer dispositivo de compresión; y al menos un segundo paso dispositivo de compresión; en el que, en el segundo intercambiador de calor, un gas natural licuado a baja temperatura y el medio de transferencia de calor experimentan transferencia de calor, en el que un gas de proceso alimentado experimenta transferencia de calor para producir un fluido a baja temperatura a partir del gas de proceso y en el que el fluido a baja temperatura es comprimido después de ello en el al menos un segundo dispositivo de compresión para producir un fluido comprimido a baja temperatura caracterizado por que el al menos un segundo dispositivo de compresión está acoplado al dispositivo de expansión o uno de los dispositivos de expansión y en el primer intercambiador de calor, el gas de proceso alimentado y el medio de transferencia de calor experimentan transferencia de calor para producir el fluido a baja temperatura a partir del gas de proceso.

También, un método para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura de acuerdo con la presente invención comprende un sistema de ciclo Rankine en el cual un medio de transferencia de calor que ha sido comprimido adiabáticamente mediante un primer dispositivo de compresión es calentado en un primer intercambiador de calor a una presión constante, después de eso expandido adiabáticamente mediante dispositivo de expansión y enfriado más en un segundo intercambiador de calor a una presión constante, en el que un gas natural licuado en un estado licuado a baja temperatura es guiado al segundo intercambiador de calor para transferir el frío del mismo al medio de transferencia de calor y un gas de proceso que ha sido alimentado es enfriado y después de eso guiado a al menos un segundo dispositivo de compresión para ser extraído como un fluido comprimido a baja temperatura caracterizado por que el gas de proceso alimentado es guiado al primer intercambiador de calor para ser enfriado mediante el medio de transferencia de calor y por que el al menos un segundo dispositivo de compresión está acoplado con el dispositivo de expansión.

Con una estructura tal, el frío del GNL puede ser usado de manera eficiente en preparar un fluido comprimido a baja temperatura y puede conseguirse una reducción de la energía necesaria. Específicamente, en el proceso de verificar la presente invención, se ha encontrado que la transferencia de calor se lleva a cabo de manera eficiente mediante intercambio de calor con un fluido comprimido y el frío necesario para preparar un gas a baja temperatura es extremadamente pequeño si se compara con el frío necesario para preparar un fluido a baja temperatura bajo condiciones convencionales de presión normal usando el frío del GNL. Basándose en tal conocimiento, en la presente invención, un sistema de ciclo Rankine (al que se hace referencia en adelante en este documento como "RC") que puede usar de manera efectiva el intercambio de calor con un fluido comprimido se aplica para preparar un fluido a baja temperatura, por medio de lo cual el frío del GNL puede usarse mucho más eficientemente y la energía necesaria para transferir el frío puede reducirse en gran medida transfiriendo de manera eficiente el frío del GNL a alta presión por vía del medio de transferencia de calor del RC y transfiriendo la energía del frío desde el medio de transferencia de calor comprimido adiabáticamente a un gas de proceso alimentado a presión normal.

Un aparato de acuerdo con la presente invención que usa el aparato descrito arriba comprende, además: un segundo paso de flujo para guiar el fluido comprimido a baja temperatura desde el segundo dispositivo de compresión hasta al menos uno del primer intercambiador de calor y el segundo intercambiador de calor para formar un componente licuado, una válvula de regulación para regular una presión del fluido comprimido a baja temperatura desde al menos uno del primer intercambiador de calor y el segundo intercambiador de calor; y un separador gas-líquido al cual es guiado el fluido comprimido a baja temperatura por vía de la válvula de regulación, que realiza la separación gas-líquido para permitir que el componente licuado sea extraído del mismo.

También, un método de acuerdo con la presente invención usa el método descrito arriba, en el cual el fluido comprimido a baja temperatura que proviene del segundo dispositivo de compresión es enfriado en el primer intercambiador de calor o el segundo intercambiador de calor y sometido a regulación de presión mediante una válvula de regulación, y un componente licuado es sometido a separación gas-líquido en un separador gas-líquido y es extraído como un componente licuado a baja temperatura del separador gas-líquido.

Cuando el frío del GNL se usa para preparar un fluido licuado tal como gas nitrógeno, la temperatura del GNL es alrededor de $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ mientras que el punto de ebullición del nitrógeno a presión atmosférica es $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, de forma que la diferencia de niveles de temperatura debe ser compensada entre éstos. La presente invención materializa tal función con el uso de un sistema de ciclo Rankine. El medio de transferencia de calor usado en el sistema de ciclo Rankine es enfriado hasta alrededor de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-155\text{ }^{\circ}\text{C}$ usando el frío del GNL para asegurar que el frío sea transferido al gas nitrógeno o similar. Después de que la presión se eleva típicamente hasta una presión crítica o por encima (por ejemplo, 5 a 6 MPa), el frío es transferido a través del primer intercambiador de calor al gas nitrógeno o similar en una condición de presión normal o de baja presión, y más adelante el frío es transferido a través del segundo intercambiador de calor al gas nitrógeno o similar comprimido a alta presión, por medio de lo cual puede prepararse un gas nitrógeno licuado de manera eficiente. Al preparar un fluido licuado, el frío del GNL puede usarse más eficientemente y la energía necesaria para transferir el frío puede reducirse en gran medida.

La presente invención se relaciona también con el aparato para producir un fluido licuado descrito arriba, en el que el aparato comprende, además: un tercer intercambiador de calor dispuesto en un tercer paso de flujo para guiar el medio de transferencia de calor desde el primer intercambiador de calor hasta el dispositivo de expansión, en el que el medio de transferencia de calor, el gas natural licuado que proviene del segundo intercambiador de calor y el

fluido comprimido a baja temperatura que proviene del segundo dispositivo de compresión experimentan intercambio de calor en el tercer intercambiador de calor.

5 Con tal estructura, el frío del GNL puede usarse mucho más eficientemente y puede llevarse a cabo la preparación de un fluido licuado que tiene una elevada eficiencia energética. En particular, cuando se introduce agua de refrigeración en el tercer intercambiador de calor para realizar intercambio de calor por energía del frío que tiene una gran capacidad calorífica, la transferencia de calor caliente preparatorio o auxiliar al medio de transferencia de calor, el gas natural licuado y el fluido comprimido a baja temperatura puede llevarse a cabo incluso en fluctuación transitoria o similar en el momento de arrancar o en el momento de parar, asegurando de este modo un uso estable del frío del GNL y una eficiencia energética estable.

10 La presente invención se relaciona también con el aparato para producir un fluido licuado descrito arriba en el que un primer dispositivo de elevación de presión, un primer paso de flujo de bifurcación, un segundo dispositivo de elevación de presión y un segundo paso de flujo de bifurcación se disponen en un cuarto paso de flujo a través del cual es guiado el gas de proceso hasta el primer intercambiador de calor; un cuarto intercambiador de calor y un tercer paso de flujo de bifurcación se disponen en un quinto paso de flujo a través del cual es guiado el componente licuado que proviene del separador gas-líquido; el cual tiene un sexto paso de flujo a través del cual un componente gaseoso del separador gas-líquido es guiado al primer paso de flujo de bifurcación por vía del primer intercambiador de calor o el segundo intercambiador de calor, y un séptimo paso de flujo a través del cual el componente licuado que ha sido bifurcado en el tercer paso de flujo de bifurcación es guiado hasta el segundo paso de flujo de bifurcación por vía del cuarto intercambiador de calor y el primer intercambiador de calor o el segundo intercambiador de calor, donde el componente licuado que proviene del separador gas-líquido es extraído del mismo por vía del cuarto intercambiador de calor.

25 Se conoce en la técnica, comprimiendo el gas de proceso en múltiples etapas, que el gas de proceso puede ser alimentado de manera eficiente y la eficiencia de intercambio de calor en el intercambiador de calor en el cual se introduce tal gas de proceso se mejorará. La presente invención ha hecho posible suministrar un fluido licuado en una condición estable y con una buena eficiencia energética proporcionando compresores en varias etapas como dispositivo de alimentación de gas de proceso y retornando el fluido licuado en una condición estable inmediatamente antes de ser extraído para mezclar el fluido licuado con el gas de proceso del mismo.

30 La presente invención se relaciona también con el aparato para producir un fluido licuado descrito arriba, en el que el sistema de ciclo Rankine está compuesto por una pluralidad de sistemas de ciclo Rankine que usan una pluralidad de medios de transferencia de calor que tienen diferentes puntos de ebullición o capacidades caloríficas, donde el gas de proceso es guiado desde el primer intercambiador de calor al primer intercambiador de calor después de ser comprimido por un segundo dispositivo de compresión que está acoplado al dispositivo de expansión involucrado en un sistema de ciclo Rankine que usa un medio de transferencia de calor que tiene un punto de ebullición bajo o una capacidad calorífica baja, y después de ello el gas de proceso es guiado desde el primer intercambiador de calor al primer intercambiador de calor después de ser comprimido por un segundo dispositivo de compresión que está acoplado al dispositivo de expansión involucrado en otro ciclo Rankine que usa un medio de transferencia de calor que tiene un punto de ebullición alto o una capacidad calorífica grande.

40 En muchos casos, un aparato para producir un fluido licuado se usa en línea en equipos de producción de semiconductores o similares de forma que se demanda un suministro de gas continuo y también la cantidad de suministro, la presión de suministro y similares del mismo pueden fluctuar grandemente. También, según se describió antes, hay casos en los cuales el suministro estable de GNL no está necesariamente asegurado. La presente invención ha hecho posible suministrar un fluido licuado en una condición estable y con una buena eficiencia energética construyendo una pluralidad de sistemas de ciclo Rankine que usan una pluralidad de medios de transferencia de calor que tienen puntos de ebullición o capacidades caloríficas diferentes para el medio de transferencia de calor que lleva a cabo la transferencia del frío del GNL y regulando los elementos de control que pueden ser controlados fácilmente, tales como el caudal y la presión del medio de transferencia de calor, en cada sistema de ciclo Rankine con respecto a los elementos fluctuantes en estos casos.

Breve descripción de los dibujos

50 La figura 1 es una vista esquemática que ilustra un ejemplo de estructura básica de un aparato para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 es una vista esquemática que ejemplifica un modo del primer ejemplo de estructura de un aparato para producir un fluido licuado de acuerdo con la presente invención;

la figura 3 es una vista esquemática que ejemplifica otro modo del primer ejemplo de estructura de un aparato para producir un fluido licuado de acuerdo con la presente invención;

55 la figura 4 es una vista esquemática que ilustra el segundo ejemplo de estructura de un aparato para producir un fluido licuado de acuerdo con la presente invención;

la figura 5 es una vista esquemática que ilustra el tercer ejemplo de estructura de un aparato para producir un fluido licuado de acuerdo con la presente invención;

la figura 6 es una vista esquemática que ilustra el cuarto ejemplo de estructura de un aparato para producir un fluido licuado de acuerdo con la presente invención; y

la figura 7 es una vista esquemática que ilustra un ejemplo de estructura de un proceso de licuefacción de gas de acuerdo con una técnica convencional.

5 Descripción detallada de al menos un modo de realización

Un aparato para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura de acuerdo con la presente invención (al que se hace referencia en adelante en este documento como "presente aparato") que usa un sistema de ciclo Rankine (RC) comprende: un primer dispositivo de compresión para comprimir adiabáticamente un medio de transferencia de calor; un primer intercambiador de calor para calentar a presión constante el medio de transferencia de calor comprimido adiabáticamente; un dispositivo de expansión para expandir adiabáticamente el medio de transferencia de calor calentado; un segundo intercambiador de calor para enfriar a presión constante el medio de transferencia de calor expandido adiabáticamente; un (primer) paso de flujo para guiar el medio de transferencia de calor desde el segundo intercambiador de calor hasta el primer dispositivo de compresión; y al menos un segundo dispositivo de compresión que está acoplado al dispositivo de expansión; en el que, en el segundo intercambiador de calor, un gas natural licuado (GNL) a baja temperatura y el medio de transferencia de calor experimentan transferencia de calor, en el que, en el primer intercambiador de calor, un gas de proceso alimentado y el medio de transferencia de calor experimentan transferencia de calor para producir un fluido a baja temperatura a partir del gas de proceso, y en el que el fluido a baja temperatura es comprimido después de ello en el segundo dispositivo de compresión para producir un fluido comprimido a baja temperatura. En delante de este documento, las realizaciones de la presente invención se describirán con referencia a los dibujos adjuntos. Aquí, en las presentes realizaciones, pueden ponerse como ejemplo casos en los cuales gas nitrógeno es el gas a ser licuado; no obstante, la presente invención puede aplicarse de manera similar a la licuefacción de otros gases, por ejemplo, aire, argón y similares. También, condiciones tales como la temperatura, la presión y el caudal de cada sección pueden cambiarse adecuadamente de acuerdo con otras condiciones tales como el tipo del gas y el caudal.

La estructura básica del presente aparato se ejemplificará esquemáticamente en la figura 1. El presente aparato tiene un sistema de ciclo Rankine (RC) en el cual circula un medio de transferencia de calor. El medio de transferencia de calor forma un sistema de circulación en el cual, secuencialmente, el medio de transferencia de calor es comprimido adiabáticamente por una bomba de compresión 1 la cual sirve como un primer dispositivo de compresión, enfriado a presión constante por un gas de proceso en un primer intercambiador de calor 2, expandido adiabáticamente por una turbina 3 la cual sirve como un dispositivo de expansión, enfriado a presión constante por el frío del GNL en un segundo intercambiador de calor 4 y aspirado de nuevo por la bomba de compresión 1. Mediante tal estructura, el frío del GNL puede ser transferido estable y eficientemente al gas de proceso. Aquí, el "medio de transferencia de calor" puede seleccionarse de entre diferentes sustancias tales como hidrocarburos, amoniaco licuado, cloro licuado y agua. También, a una temperatura normal y bajo una presión normal, el medio de transferencia de calor puede incluir no sólo líquidos sino también gases, de forma que un gas que tenga una capacidad calorífica grande, tal como el dióxido de carbono, puede aplicarse. Junto al caso en el que se usa metano, etano, propano, butano o similares individualmente como el hidrocarburo, el punto de ebullición o la capacidad calorífica óptimos puede diseñarse usando una mezcla de una pluralidad de compuestos. En particular, cuando se usan una pluralidad de RCs como se describirá más adelante, la energía del frío del GNL puede ser transferida térmicamente en una pluralidad de bandas de temperatura usando, por ejemplo, una mezcla de "metano + etano + propano" en un RC y usando una mezcla de "etano + propano + butano" en otro RC.

El GNL de un caudal predeterminado se suministra al segundo intercambiador de calor 4, por lo cual se asegura una cantidad predeterminada de frío. Controlando el caudal de suministro del GNL, puede regularse fácilmente el frío que se transfiere al gas de proceso. Un gas de proceso de un caudal deseado se suministra al primer intercambiador de calor 2 mediante una bomba de alimentación 5, por medio del cual una cantidad predeterminada de frío se transfiere al gas de proceso para enfriar el gas de proceso hasta una temperatura deseada. Después, el gas de proceso es guiado al compresor 6, el cual es el segundo dispositivo de compresión, para ser comprimido hasta una presión deseada y es extraído como un fluido comprimido a baja temperatura deseado. Mediante tal estructura, puede producirse un fluido comprimido a baja temperatura deseado en una condición estable. También, la eficiencia energética puede mejorarse en gran medida si se compara con un aparato convencional en el cual el frío del GNL y el gas de proceso son sometidos a intercambio de calor directo.

Según se describió arriba, el fluido comprimido a baja temperatura es producido en una condición tal que, en el presente aparato en el cual se forma un sistema de ciclo Rankine (RC), un gas natural licuado en un estado licuado a baja temperatura es guiado al segundo intercambiador de calor 4 para transferir el frío del mismo al medio de transferencia de calor y el gas de proceso que es alimentado por la bomba de alimentación 5 es guiado al primer intercambiador de calor 2 para ser enfriado por el medio de transferencia de calor y después de esto guiado al al menos un segundo dispositivo de compresión (compresor) 6 que está acoplado al dispositivo de expansión (turbina) 3, para ser extraído como un fluido comprimido a baja temperatura.

Específicamente, se asumirá un ejemplo en el cual una mezcla obtenida mezclando etano y propano en una proporción molar igual como componente principal, por ejemplo, se usa como el medio de transferencia de calor del RC; GNL de alrededor de 6 MPa es guiado al segundo intercambiador de calor 4; y gas nitrógeno es alimentado

como gas de proceso. En el ejemplo, el medio de transferencia de calor guiado a alrededor de 0,05 MPa al segundo intercambiador de calor 4 es guiado fuera después de ser enfriado hasta unos -115 °C, comprimido adiabáticamente hasta unos 1,8 MPa por la bomba de compresión 1, guiado al primer intercambiador de calor 2, guiado fuera después de ser calentado por el intercambio de calor con el gas de proceso, expandido adiabáticamente por la

5 turbina 3 y guiado a unos -45 °C y bajo alrededor de 0,05 MPa al segundo intercambiador de calor 4. El gas nitrógeno guiado a unos 2,1 MPa al primer intercambiador de calor 2 es guiado fuera después de ser enfriado hasta unos -90 °C, comprimido hasta unos 5 MPa por el compresor 6 acoplado a la turbina 3 y extraído como gas nitrógeno comprimido a baja temperatura que tiene una temperatura de unos -90 °C y una presión de unos 5 MPa.

10 Un caso en el cual un gas nitrógeno comprimido a baja temperatura se preparó usando el presente aparato se comparó con un caso en el cual un gas nitrógeno a baja temperatura se preparó usando un método convencional, para verificar la eficiencia energética del mismo. Como se describirá más abajo, puede conseguirse una mejora de alrededor del 50% o más usando el presente aparato.

(i) Un caso en el cual se preparó un gas nitrógeno a baja temperatura usando un método convencional

15 Asumiendo que se suministró GNL a 1 t/h y un compresor se operó con una energía eléctrica de 15,7 kWh, un gas nitrógeno de 677 Nm³/h, por ejemplo, pudo presurizarse desde 20 bar a 37 bar. Durante este tiempo, la temperatura de entrada del compresor fue 40 °C y la temperatura de salida del mismo fue 111 °C.

(ii) Un caso en el cual se preparó un gas nitrógeno a baja temperatura usando el presente método

La cantidad de GNL necesaria para obtener un gas nitrógeno comprimido a baja temperatura, esto es, para presurizar un gas nitrógeno de 677 Nm³/h, desde 20 bar a 37 bar fue 0,485 t/h.

20 (iii) Cuando los dos casos se compararon, se hubo encontrado que la energía eléctrica podría reducirse en alrededor de 8 kWh, esto es, en alrededor del 52%, a partir de la fórmula 1 siguiente:

$$(1-0,485) \times 0,515 = 8,09 \text{ [kWh]}$$

$$8,09 / 15,7 = 0,52 \quad \dots \text{ (fórmula 1)}$$

Aparato para producir un fluido licuado que usa el presente aparato

25 Un ejemplo de estructura básica (primer ejemplo de estructura) de un aparato (al que se hace referencia en adelante en este documento como "presente aparato de licuefacción") para producir un fluido licuado usando el presente aparato se mostrará esquemáticamente en la figura 2. En adelante en este documento, elementos comunes a los del presente aparato se indicarán con nominaciones y símbolos de referencia comunes y se puede omitir una descripción de los mismos. El presente aparato de licuefacción tiene un sistema de ciclo Rankine (RC) similar al del

30 presente aparato y comprende un (segundo) paso de flujo a través del cual el fluido comprimido a baja temperatura desde el segundo dispositivo de compresión 6 hasta el al menos uno del primer intercambiador de calor 2 y el segundo intercambiador de calor 4 (el segundo intercambiador de calor 4 del primer ejemplo de estructura), una válvula de regulación 7 para regular la presión del fluido comprimido a baja temperatura que contiene un componente licuado que proviene del primer intercambiador de calor 2 o el segundo intercambiador de calor 4 (del

35 segundo intercambiador de calor 4 en el primer ejemplo de estructura) y un separador gas-líquido 8 al cual es guiado el fluido comprimido a baja temperatura por vía de la válvula de regulación 7 para realizar la separación gas-líquido del componente licuado, con lo cual el componente licuado es extraído a baja temperatura desde el separador gas-líquido 8. Además de las funciones del presente aparato descrito arriba, puede eliminarse la dificultad de la transferencia de calor debida a la diferencia entre la temperatura del GNL suministrado y el punto de ebullición del

40 gas de proceso usando el RC de manera efectiva. En otras palabras, transfiriendo más el frío del GNL al gas comprimido a baja temperatura, el frío puede ser usado eficientemente para licuar el gas a baja temperatura. Mediante una estructura tal, el fluido licuado puede prepararse estable y eficientemente.

En otras palabras, el fluido comprimido a baja temperatura que proviene del segundo dispositivo de compresión 6 se enfría en el segundo intercambiador de calor 4 y es sometido a regulación de presión mediante la válvula de regulación 7 y el componente licuado es sometido a separación gas-líquido en el separador gas-líquido 8 y extraído como componente licuado a baja temperatura desde el separador gas-líquido 8. En este momento, cuando el gas de proceso es, por ejemplo, etano o propano que tienen un punto de ebullición comparativamente más alto que el nitrógeno o el oxígeno, el fluido comprimido a baja temperatura puede ser licuado siendo guiado al primer intercambiador de calor 2, como se ejemplifica en la figura 3. Esto es porque la diferencia de temperatura desde el

45 frío del GNL es pequeña y el frío del GNL es suficiente para que la licuefacción pueda ser transferida por vía del medio de transferencia de calor cuando el material fuente es guiado fuera del primer intercambiador de calor 2 y de nuevo guiado al primer intercambiador de calor 2 en un estado comprimido. También, en el caso de "la presión del GNL" > "la presión del gas de proceso" (por ejemplo, alrededor de 50 bar), hay una posibilidad de que el GNL pueda fugarse al lado del gas de proceso de forma que el riesgo de la misma puede ser evitado con una estructura tal.

55 De manera similar que el ejemplo específico del presente aparato descrito arriba, se asumirá un ejemplo específico en cual se usa como el medio de transferencia de calor del RC, por ejemplo, una mezcla obtenida mezclando etano y propano en una proporción molar igual como componente principal; GNL de alrededor de 6 MPa se guía al

segundo intercambiador de calor 4; y se alimenta gas nitrógeno como gas de proceso. Un gas de proceso que ha sido guiado a alrededor de 2,1 MPa al primer intercambiador de calor 2 se convierte en un gas nitrógeno comprimido a baja temperatura de alrededor de -90 °C y alrededor de 5 MPa pasando a través del compresor 6. Este gas nitrógeno comprimido a baja temperatura es guiado más allá al segundo intercambiador de calor 4 para ser enfriado hasta unos -153 °C y luego es expandido por vía de la válvula de regulación 7 para enfriarse hasta unos -179 °C, después de lo cual el gas nitrógeno licuado que contiene principalmente un componente licuado es guiado al separador gas-líquido 8. El componente licuado que ha sido sometido a la separación gas-líquido en el separador gas-líquido 8 es extraído como un gas nitrógeno licuado de alrededor de -179 °C y alrededor de 0,05 MPa.

De manera similar que en el ensayo de verificación en el presente aparato descrito arriba, un caso en el cual un gas nitrógeno licuado se preparó usando el presente aparato de licuefacción se comparó con un caso en el cual un gas nitrógeno licuado se preparó usando un método convencional para verificar la eficiencia energética del mismo. Como se describirá abajo, se podría conseguir una mejora de alrededor del 25% o más usando el presente aparato.

(i) Un caso en el cual un gas nitrógeno licuado se preparó usando un método convencional

Se suministró GNL a 1 t/h y se necesitó una energía de 0,28 kWh/Nm³ para preparar un gas nitrógeno licuado de alrededor de 0,05 MPa.

(ii) Un caso en el cual un gas nitrógeno licuado se preparó usando el presente método

Una energía de 0,21 kWh/Nm³ fue suficiente para preparar un gas nitrógeno licuado de alrededor de 0,05 MPa bajo las condiciones del ejemplo específico del presente aparato de licuefacción descrito arriba.

(iii) Cuando los dos casos se compararon, se ha encontrado que la energía eléctrica podría reducirse en alrededor del 25%, a partir de la fórmula siguiente:

$$(0,28-0,21) / 0,28 = 0,25 \quad \dots \text{ (fórmula 1)}$$

Otro ejemplo de estructura (segundo ejemplo de estructura) del presente aparato de licuefacción se mostrará esquemáticamente en la figura 4. De manera similar que en el primer ejemplo de estructura, el presente aparato de licuefacción de acuerdo con el segundo ejemplo de estructura tiene un sistema de ciclo Rankine (RC), una válvula de regulación 7 y un separador gas-líquido 8 en el que se dispone un tercer intercambiador de calor 9 en un (tercer) paso de flujo a través del cual es guiado el medio de transferencia de calor desde el primer intercambiador de calor 2 hasta el dispositivo de expansión (turbina) 3, donde el medio de transferencia de calor, el gas natural licuado que proviene del segundo intercambiador de calor 4 y el fluido comprimido a baja temperatura que proviene del segundo dispositivo de compresión (compresor) 6 experimentan intercambio de calor en el tercer intercambiador de calor 9. Además de las funciones del primer ejemplo de estructura, el frío del GNL puede usarse mucho más eficientemente y puede llevarse a cabo la preparación de un fluido licuado que tenga una elevada eficiencia energética. Aquí, de manera similar que en el primer ejemplo de estructura, puede aplicarse una estructura en la cual puede licuarse el fluido comprimido a baja temperatura siendo guiado al primer intercambiador de calor 2.

En otras palabras, en el tercer intercambiador de calor 9, el frío del GNL puede usarse mucho más eficientemente usando el frío residual del GNL para enfriar el medio de transferencia de calor que se ha calentado en el primer intercambiador de calor 2 y el fluido comprimido a baja temperatura que se ha comprimido para tener una calidad de calor aumentada. También, se ejemplificará aquí una estructura en la cual se introduce agua de refrigeración en el tercer intercambiador de calor 9. Puede llevarse a cabo intercambio de calor con energía fría que tiene una capacidad calorífica grande y puede conseguirse la transferencia rápida de calor caliente al medio de transferencia de calor, el gas natural licuado y el fluido comprimido a baja temperatura. Incluso para fluctuación transitoria o similar en el momento de arrancar o en el momento de parar, puede conseguirse transferencia auxiliar o preliminar de energía caliente al medio de transferencia de calor, el gas natural licuado y el fluido comprimido a baja temperatura, por lo cual pueden asegurarse un uso estable del frío del GNL y eficiencia energética estable.

El tercer ejemplo de estructura del presente aparato de licuefacción se mostrará esquemáticamente en la figura 5. Además del segundo ejemplo de estructura, el aparato para licuefacción de acuerdo con el tercer ejemplo de estructura se caracteriza por que el primer dispositivo de elevación de presión (bomba de alimentación) 5, un primer paso de flujo de bifurcación S1, segundo dispositivo de elevación de presión 12 y un segundo paso de flujo de bifurcación S2 están dispuestos en un (cuarto) paso de flujo L5 a través del cual el gas de proceso es guiado hasta el primer intercambiador de calor 2; un cuarto intercambiador de calor 11 y un tercer paso de flujo de bifurcación S3 están dispuestos en un (quinto) paso de flujo L8 a través del cual es guiado el componente licuado que proviene del separador gas-líquido 8; el aparato tiene un (sexto) paso de flujo L11 a través del cual un componente gaseoso es guiado desde el separador gas-líquido 8 hasta el primer paso de flujo de bifurcación S1 por vía del segundo intercambiador de calor 4, y tiene un (séptimo) paso de flujo L12 a través del cual es guiado el componente licuado que ha sido bifurcado en el tercer paso de flujo de bifurcación S3 hasta el segundo paso de flujo S2 por vía del cuarto intercambiador de calor 11 y el segundo intercambiador de calor 4, en el que el componente licuado que proviene del separador gas-líquido 8 es extraído por vía del cuarto intercambiador de calor 11. El suministro de un fluido licuado que es estable y que tiene una buena eficiencia energética se ha posibilitado disponiendo compresores en una pluralidad de etapas como el dispositivo de alimentación de gas de proceso y retornando el fluido licuado en una condición estable inmediatamente antes de ser extraído y mezclándolo con el gas de proceso.

5 En el tercer ejemplo de estructura, se ejemplificará una estructura en la cual una segunda válvula de regulación 12 se dispone en el tercer paso de flujo de bifurcación S3 y parte del fluido licuado es guiado desde el cuarto intercambiador de calor 11 de nuevo al cuarto intercambiador de calor 11 por vía de la segunda válvula de regulación 12. Aunque tiene una presión baja, un fluido licuado que tiene una temperatura más baja se prepara expandiendo adiabáticamente el fluido licuado a baja temperatura con la segunda válvula de regulación 12 y puede permitírsele funcionar como el frío en el cuarto intercambiador de calor 11.

Se verificaron la temperatura y la presión del gas o líquido en cada paso de flujo en el caso en el cual se preparó gas nitrógeno licuado usando el aparato de licuefacción de acuerdo con el tercer ejemplo de estructura. Los resultados de la verificación se ejemplifican en la Tabla 1.

10 (TABLA 1)

| Nº de paso de flujo | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 |
|---------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Presión (bar) | 65,50 | 61,00 | 1,10 | 4,95 | 21,00 | 20,80 |
| Temperatura (°C) | - 156 | - 1 | 6 | 40 | 40 | - 91 |

| Nº de paso de flujo | L7 | L8 | L10 | L11 | L12 | L13 |
|---------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| Presión (bar) | 51,67 | 5,10 | 5,10 | 5,00 | 1,23 | 1,60 |
| Temperatura (°C) | - 20 | - 179 | -192 | - 192 | - 190 | - 45 |

| Nº de paso de flujo | L14 | L15 | L16 | S2 | S1 |
|---------------------|-------|-------|-------|------|------|
| Presión (bar) | 1,50 | 19,00 | 18,50 | 1,10 | 4,95 |
| Temperatura (°C) | - 115 | - 114 | 30 | - 31 | - 88 |

15 El cuarto ejemplo de estructura del presente aparato de licuefacción se mostrará esquemáticamente en la figura 6. Además del tercer ejemplo de estructura, el presente aparato para licuefacción de acuerdo con el cuarto ejemplo de estructura se caracteriza por que el aparato que usa una pluralidad de sistema de ciclo Rankine que comprende una pluralidad de medios de transferencia de calor que tienen diferentes puntos de ebullición o capacidades caloríficas, en el que el gas de proceso es guiado desde el primer intercambiador de calor 2 al primer intercambiador de calor 2 después de ser comprimido por el segundo dispositivo de compresión 6a que está acoplado al dispositivo de expansión 3a involucrado en un sistema de ciclo Rankine RCa que usa un medio de transferencia de calor que tiene un punto de ebullición bajo o capacidad calorífica pequeña, y después de eso el gas de proceso es guiado desde el primer intercambiador de calor 2 al primer intercambiador de calor 2 después de ser comprimido por el segundo dispositivo de compresión 6b que está acoplado al dispositivo de expansión 3b involucrado en otro sistema de ciclo Rankine RCb que usa un medio de transferencia de calor que tiene un punto de ebullición alto o una capacidad calorífica grande. Se ha posibilitado el suministro de un fluido licuado que es estable y que tiene una buena eficiencia energética construyendo con una pluralidad de sistemas de ciclo Rankine que usan una pluralidad de medios de transferencia de calor que tienen diferentes puntos de ebullición o capacidades caloríficas con respecto al medio de transferencia de calor que están implicados en transferir el frío del GNL y regulando los elementos de control que se pueden controlar fácilmente, tales como el caudal y la presión del medio de transferencia de calor en cada sistema de ciclo Rankine, con respecto a los elementos fluctuantes tales como la cantidad de suministro y la presión de suministro del fluido licuado.

35 La pluralidad de medios de transferencia de calor que tienen diferentes puntos de ebullición o capacidades caloríficas, según se hace referencia a ellos en este documento, incluye no sólo un caso en el cual las propias sustancias son diferentes y un caso en el cual las sustancias que constituyen las mezclas o compuestos son diferentes sino también un caso en el cual la composición de la mezcla de una pluralidad de sustancias es diferente. Por ejemplo, dos sistemas de ciclo Rankine que tienen características diferentes pueden construirse formando un medio de transferencia de calor con una mezcla de 20% de metano, 40% de etano y 40% de propano y formando el otro medio de transferencia de calor con una mezcla de 2% de metano, 49% de etano y 49% de propano. Mediante una combinación de los mismos, puede conseguirse la transferencia del frío o la energía fría que corresponda con

diferentes elementos fluctuantes y puede conseguirse transferencia de energía eficiente al dispositivo de compresión acoplado con el dispositivo de expansión.

5 También, cuando se usan medios de transferencia de calor que tienen diferentes componentes, puede formarse una función de transferencia de calor de un intervalo mucho más amplio. En otras palabras, hay una restricción en la banda de temperaturas en la cual el frío del GNL puede usarse debido a la relación entre la temperatura del frío del GNL y el punto de ebullición del gas de proceso o la temperatura del gas comprimido (fluido) según se describió arriba, de forma que el frío del GNL puede usarse en una pluralidad de bandas de temperatura disponiendo un sistema de ciclo Rankine RCa y otro sistema de ciclo Rankine RCb en serie como en el cuarto ejemplo de estructura. Por ejemplo, la energía fría del GNL puede ser transferida térmicamente en una pluralidad de bandas de 10 temperaturas usando una mezcla de "metano + etano + propano" en un sistema de ciclo Rankine RCa y usando una mezcla de "etano + propano + butano" en otro sistema de ciclo Rankine RCb. La energía fría del GNL puede ser usada eficientemente disponiendo un sistema de ciclo Rankine RCa y otro sistema de ciclo Rankine RCb en serie como en el cuarto ejemplo de estructura y usando la energía fría del GNL, por ejemplo, en un intervalo de -150 a -100 °C en un sistema de ciclo Rankine RCa y usando la energía fría del GNL, por ejemplo, en un intervalo de -150 a 15 -100 °C en el otro sistema de ciclo Rankine RCb. También, cuando esto se usa como energía para comprimir el gas nitrógeno, la energía (energía eléctrica consumida) necesaria por cantidad de producción de nitrógeno licuado puede reducirse grandemente.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura, comprendiendo el aparato que usa un sistema de ciclo Rankine (RCa, RCb):
- 5 un primer dispositivo de compresión (1) para comprimir adiabáticamente un medio de transferencia de calor; un primer cambiador de calor (2) para calentar a presión constante el medio de transferencia de calor comprimido adiabáticamente; al menos un dispositivo de expansión (3, 3a, 3b) para expandir adiabáticamente el medio de transferencia de calor calentado;
- 10 un segundo cambiador de calor (4) para enfriar a presión constante el medio de transferencia de calor expandido adiabáticamente; un primer paso de flujo para guiar el medio de transferencia de calor desde el segundo cambiador de calor hasta el primer dispositivo de compresión; y al menos un segundo dispositivo de compresión (6, 6a, 6b);
- 15 en el que, en el segundo intercambiador de calor, un gas natural licuado (GNL) a baja temperatura y el medio de transferencia de calor experimentan transferencia de calor, en el que, un gas de proceso (GN2) alimentado experimenta transferencia de calor (2) para producir un fluido a baja temperatura (GPN2) a partir del gas de proceso, y en el que el fluido a baja temperatura es comprimido después de ello en el al menos un segundo dispositivo de compresión (6, 6a, 6b) para producir un fluido comprimido a baja temperatura (GPN2) caracterizado por que el al menos un segundo dispositivo de compresión (6, 6a, 6b) está acoplado al dispositivo de expansión o uno de los expansión (3, 3a, 3b) y en el primer intercambiador de calor, el gas de proceso (GN2) alimentado y el medio de transferencia de calor experimentan transferencia de calor para producir el fluido a baja temperatura (GPN2) a partir del gas de proceso.
- 25 2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el aparato comprende, además: un segundo paso de flujo para guiar el fluido comprimido a baja temperatura desde el segundo dispositivo de compresión (6, 6b) hasta al menos uno del primer intercambiador de calor (2) y el segundo intercambiador de calor (4) para formar un componente licuado (LN2), una válvula de regulación (7) para regular una presión del fluido comprimido a baja temperatura desde al menos uno del primer intercambiador de calor y el segundo intercambiador de calor; y un separador gas-líquido (8) al cual es guiado el fluido comprimido a baja temperatura por vía de la válvula de regulación, que realiza la separación gas-líquido para permitir que el componente licuado sea extraído del mismo.
- 30 3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el aparato comprende, además: un tercer intercambiador de calor (9) dispuesto en un tercer paso de flujo para guiar el medio de transferencia de calor desde el primer intercambiador de calor (2) hasta el dispositivo de expansión (3), en el que el medio de transferencia de calor, el gas natural licuado que proviene del segundo intercambiador de calor (4) y el fluido comprimido a baja temperatura que proviene del segundo dispositivo de compresión (6) experimentan intercambio de calor en el tercer intercambiador de calor.
- 35 4. El aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en el que un primer dispositivo de elevación de presión (5), un primer paso de flujo de bifurcación, un segundo dispositivo de elevación de presión (12) y un segundo paso de flujo de bifurcación se disponen en un cuarto paso de flujo a través del cual es guiado el gas de proceso hasta el primer intercambiador de calor (2); un cuarto intercambiador de calor (10) y un tercer paso de flujo de bifurcación se disponen en un quinto paso de flujo a través del cual es guiado el componente licuado que proviene del separador gas-líquido (8); el cual tiene un sexto paso de flujo a través del cual es guiado un componente gaseoso desde el separador gas-líquido al primer paso de flujo de bifurcación por vía del primer intercambiador de calor (2) o el segundo intercambiador de calor (4), y un séptimo paso de flujo a través del cual es guiado el componente licuado que ha
- 45

sido bifurcado en el tercer paso de flujo de bifurcación hasta el segundo paso de flujo de bifurcación por vía del cuarto intercambiador de calor y el primer intercambiador de calor o el segundo intercambiador de calor,

en donde el componente licuado (LN2) que proviene del separador gas-líquido es extraído del mismo por vía del cuarto intercambiador de calor.

- 5 5. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que usa una pluralidad de sistemas de ciclo Rankine que comprenden una pluralidad de medios de transferencia de calor que tienen diferentes puntos de ebullición o capacidades caloríficas,

10 en donde el gas de proceso es guiado desde el primer intercambiador de calor (2) al primer intercambiador de calor después de ser comprimido por un segundo dispositivo de compresión (6a) que está acoplado al dispositivo de expansión (3a) que forma parte de un sistema de ciclo Rankine (RCa) que usa un medio de transferencia de calor que tiene un punto de ebullición bajo o una capacidad calorífica baja, y después de ello el gas de proceso es guiado desde el primer intercambiador de calor al primer intercambiador de calor después de ser comprimido por un segundo dispositivo de compresión (6b) que está acoplado al dispositivo de expansión (3b) que forma parte de otro ciclo Rankine (RCb) que usa un medio de transferencia de calor que tiene un punto de ebullición alto o una capacidad calorífica grande.

15

6. Un método para enfriar y comprimir un fluido para producir un fluido comprimido a baja temperatura,

20 el cual usa un sistema de ciclo de Rankine en el cual un medio de transferencia de calor que ha sido comprimido adiabáticamente mediante un primer dispositivo de compresión (1) es calentado a presión constante en un primer intercambiador de calor (2), después de eso expandido adiabáticamente mediante un dispositivo de expansión (3, 3a, 3b) y enfriado más a presión constante en un segundo intercambiador de calor (4);

25 en el que un gas natural licuado (GNL) a baja temperatura es guiado al segundo intercambiador de calor para transferir el frío del mismo al medio de transferencia de calor y un gas de proceso (GN2) es enfriado (2) y después de eso guiado a al menos un segundo dispositivo de compresión (6, 6a, 6b) para ser extraído como un fluido comprimida a baja temperatura (GPN2), 5 caracterizado por que el gas de proceso alimentado es guiado al primer intercambiador de calor para ser enfriado mediante el medio de transferencia de calor para ser extraído como el fluido comprimido a baja temperatura (GPN2) y por que el al menos un segundo dispositivo de compresión (6, 6a, 6b) está acoplado con el dispositivo de expansión. (3, 3a, 3b).

- 30 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el fluido comprimido a baja temperatura que proviene del segundo dispositivo de compresión es enfriado en el primer intercambiador de calor (2) o el segundo intercambiador de calor (4) y sometido a regulación de presión mediante una válvula de regulación (7), y un componente licuado es sometido a separación gas-líquido en un separador gas-líquido (8) y es extraído como un componente licuado a baja temperatura (LN2) que proviene del separador gas-líquido.

35

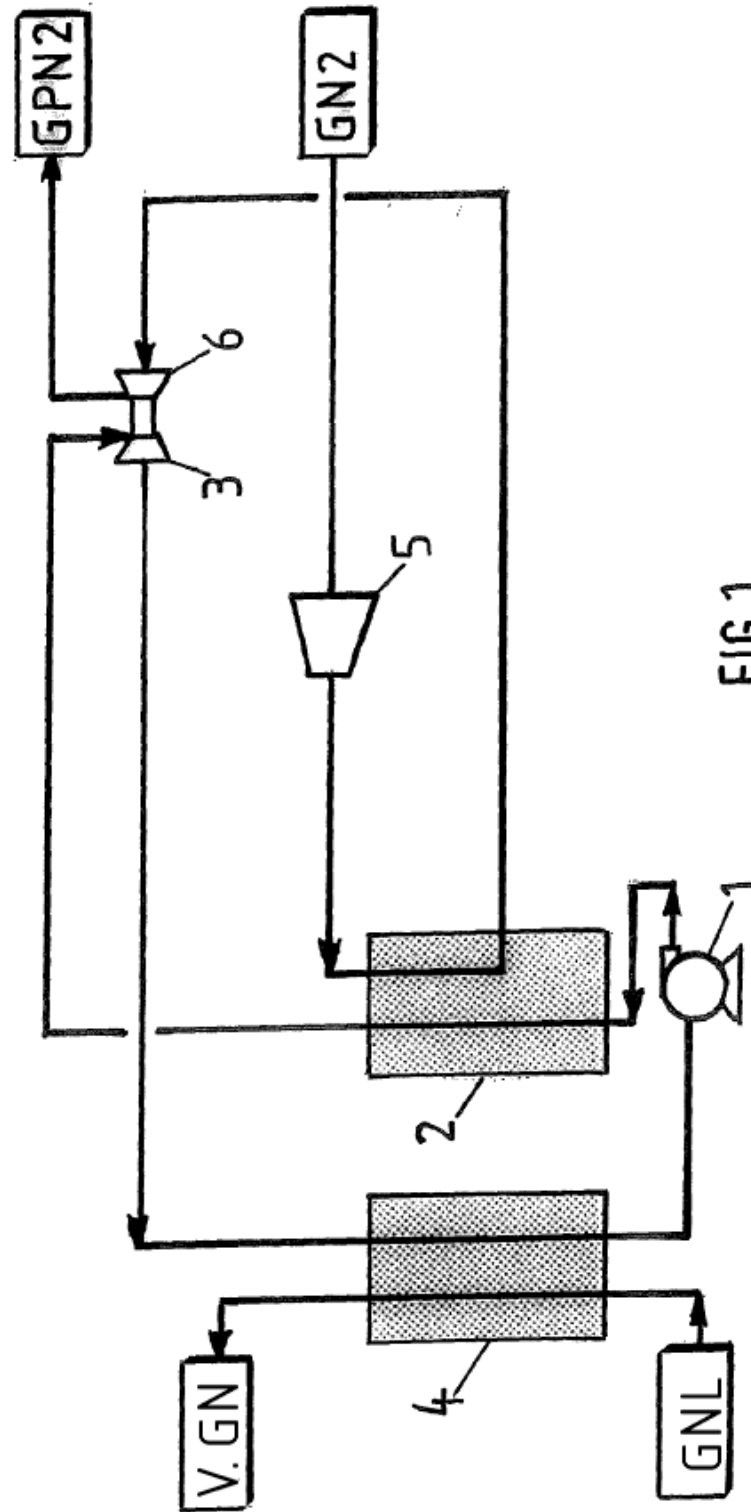


FIG. 1

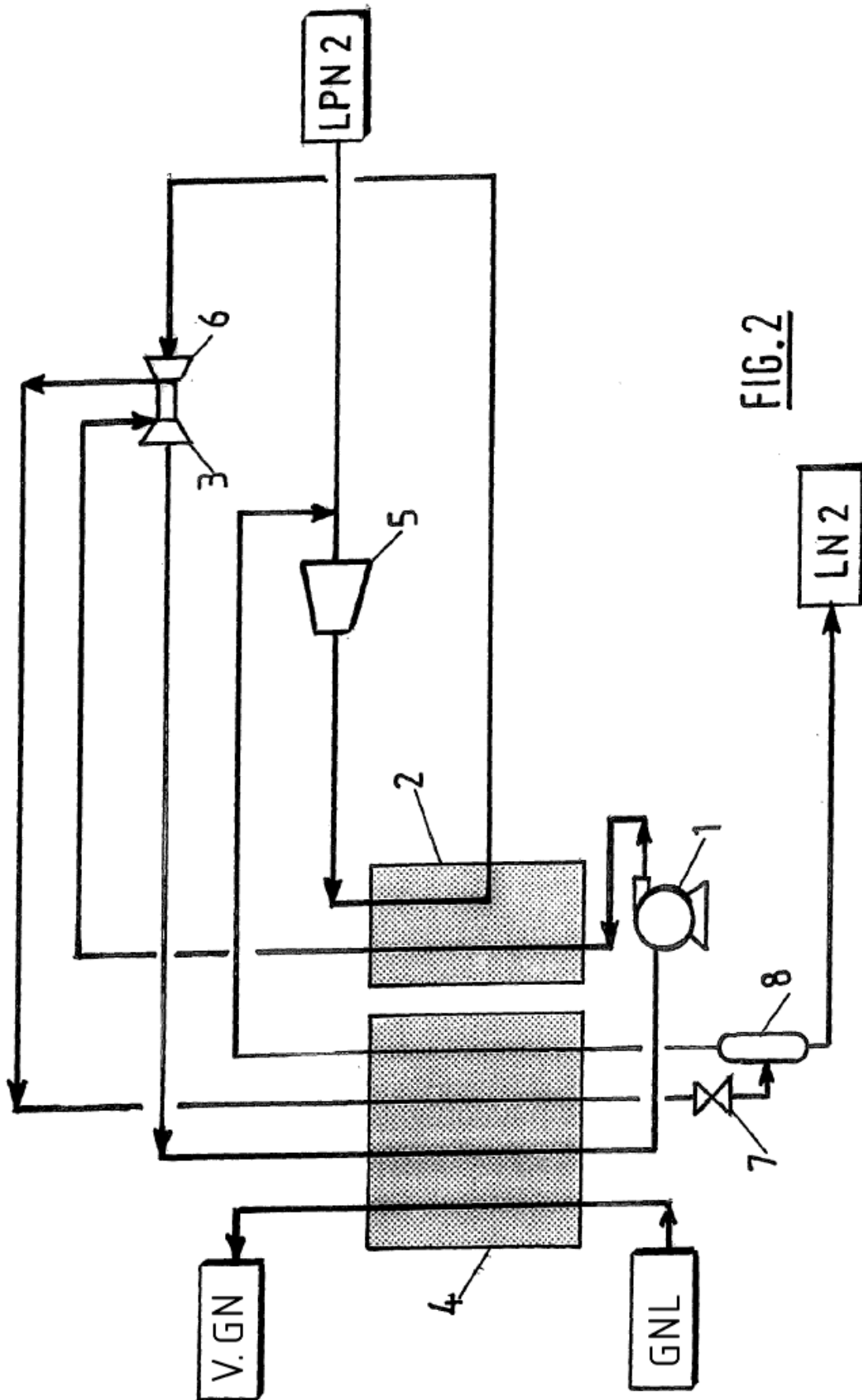


FIG. 2

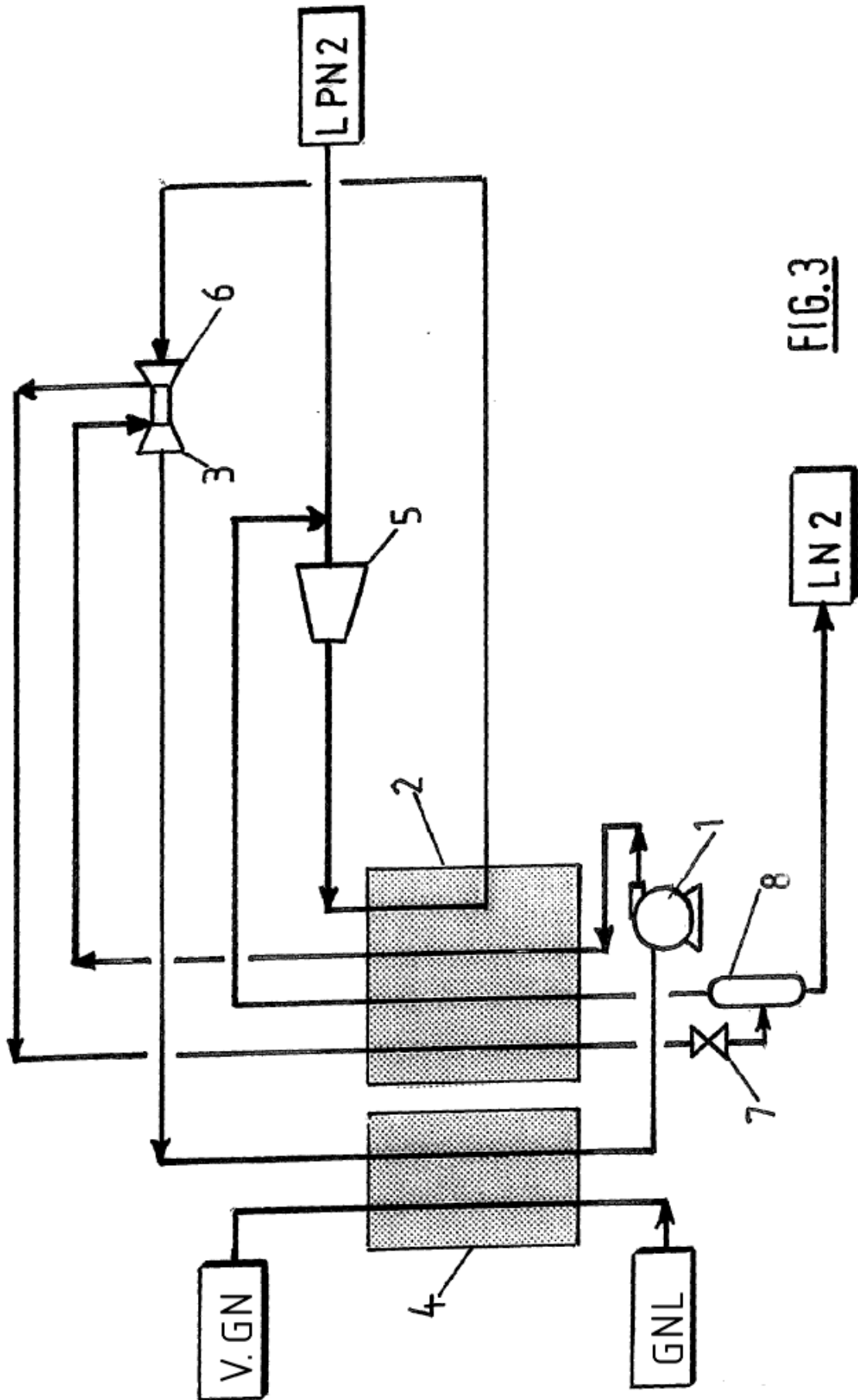


FIG. 3

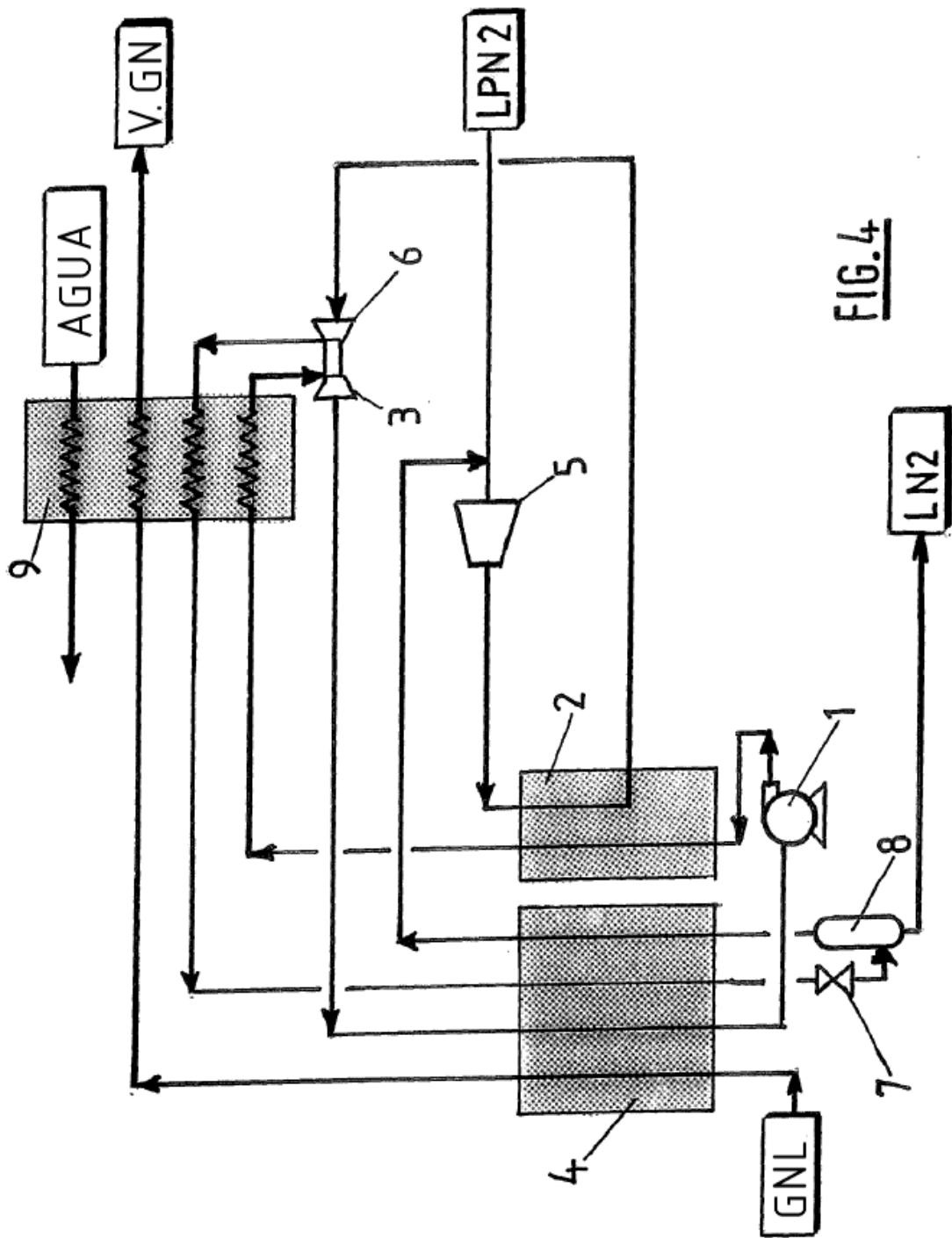


FIG. 4

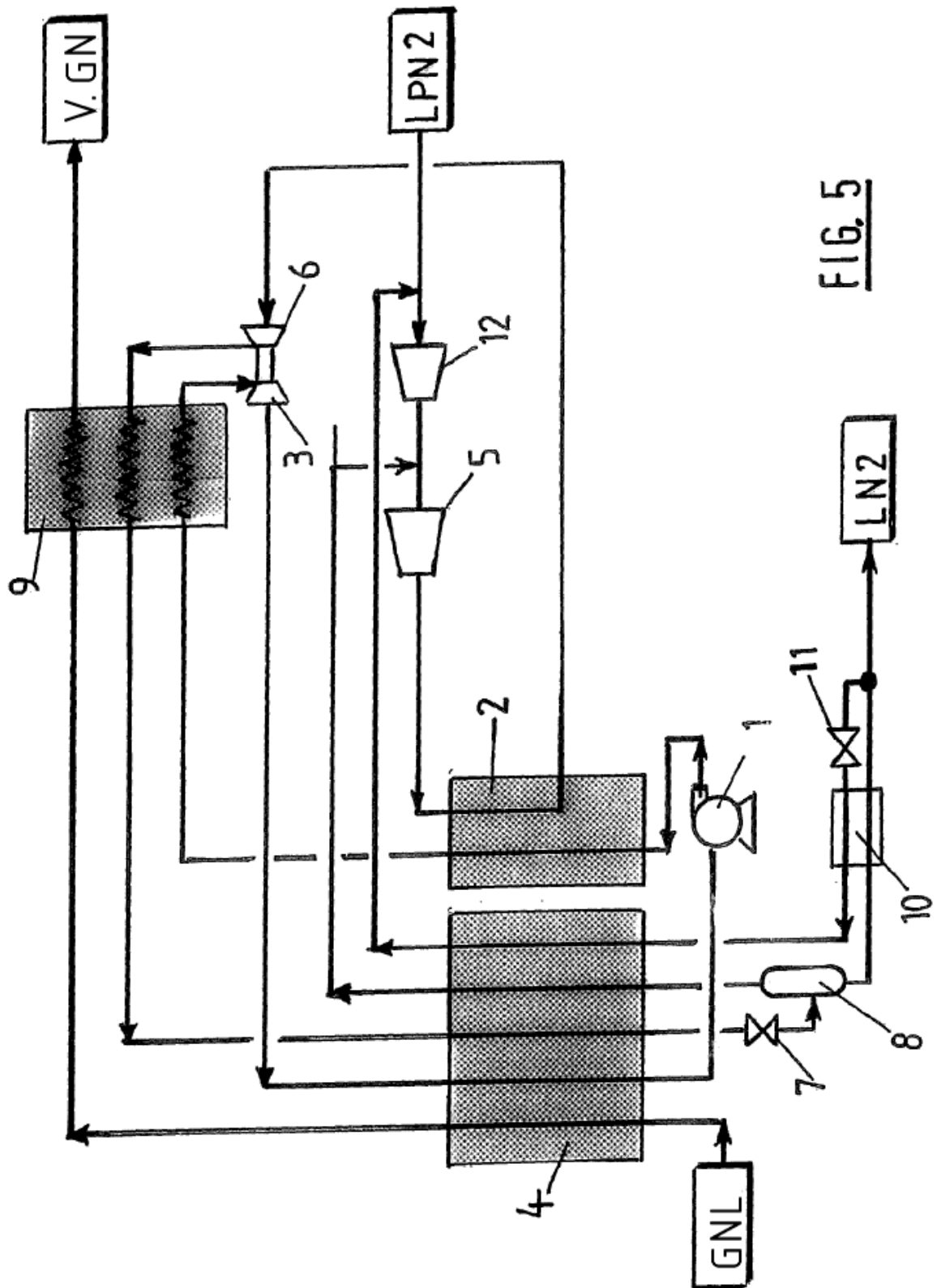
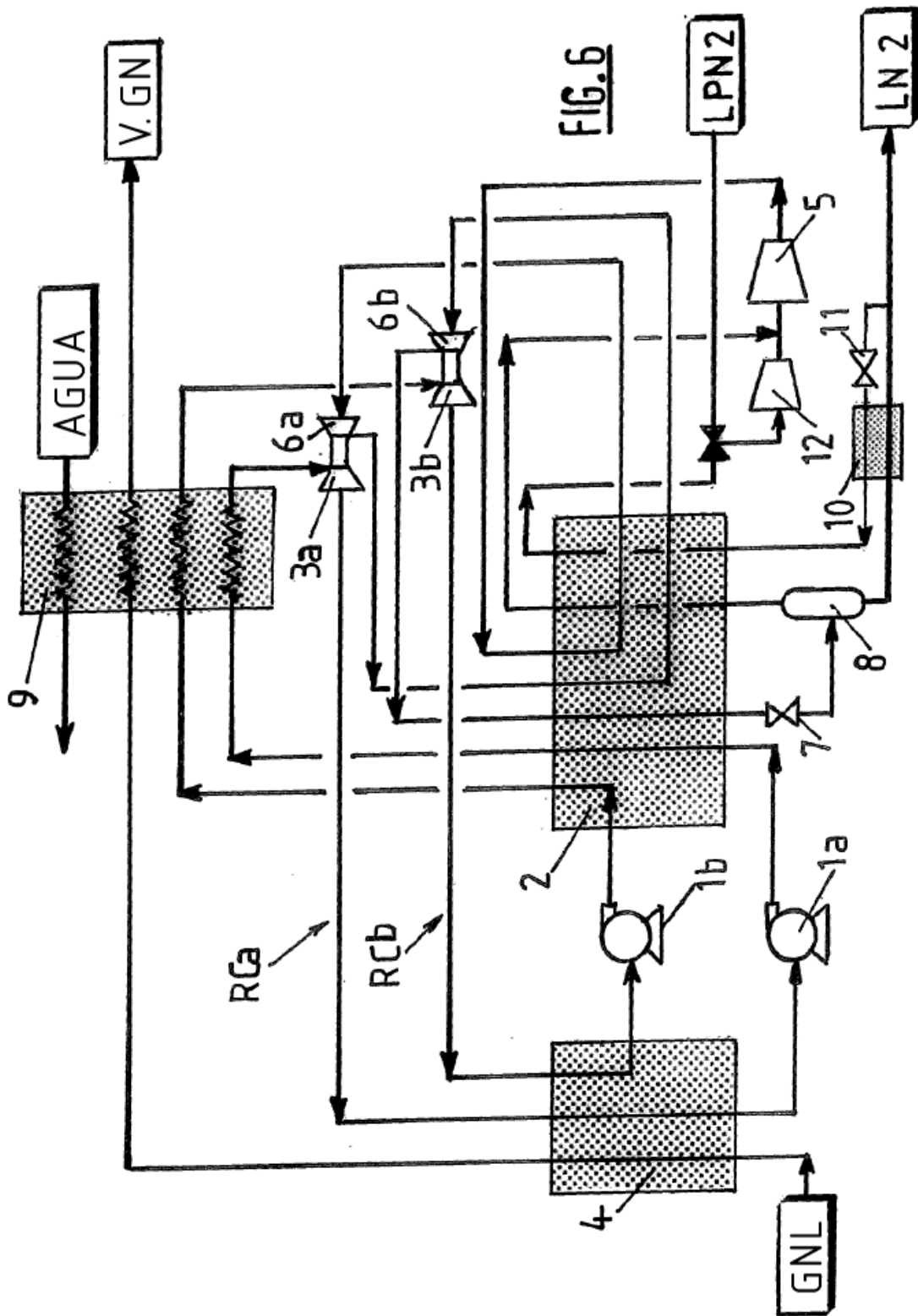


FIG. 5



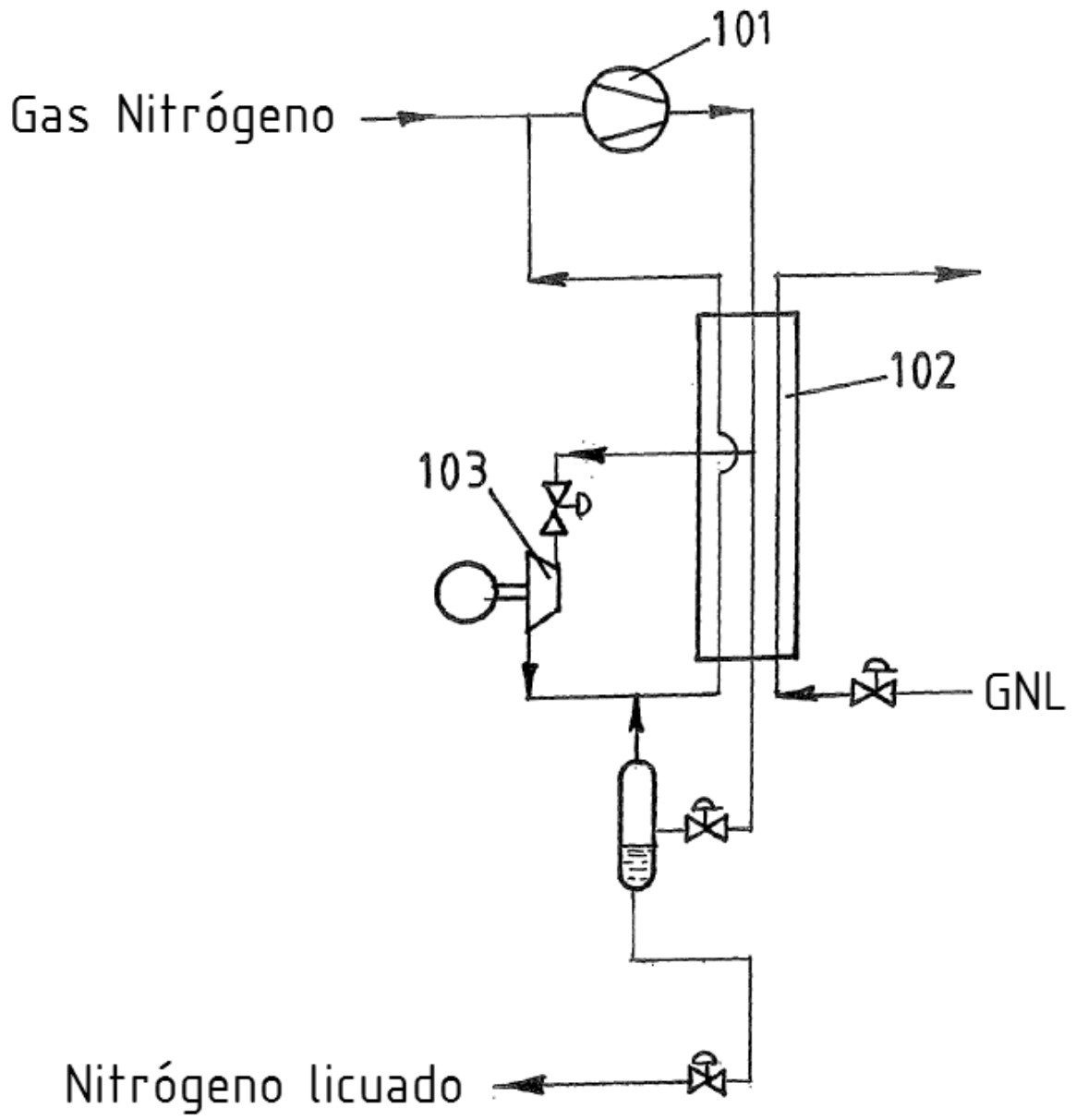


FIG.7