

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 582 941**

51 Int. Cl.:

**F25B 25/00** (2006.01)

**F25B 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2005** **E 05719451 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2016** **EP 1813889**

54 Título: **Método y dispositivo de licuefacción y refrigeración criogénica**

30 Prioridad:

**15.11.2004 JP 2004330160**

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

**16.09.2016**

73 Titular/es:

**MAYEKAWA MFG. CO., LTD. (100.0%)  
13-1, BOTAN 2-CHOME, KOTO-KU  
TOKYO 135-0046, JP**

72 Inventor/es:

**INO, NOBUMI;  
KISHI, TAKAYUKI;  
NISHIO, TOSHIO;  
MACHIDA, AKITO;  
SEKIYA, YOSHIMITSU;  
KOHAMA, MASAMI y  
NOGUCHI, MASATO**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 582 941 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 dispositivo de licuefacción y refrigeración criogénica

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un método y sistema para la reducción efectiva de la potencia de accionamiento de un compresor y la minimización del consumo total de potencia para la operación de un sistema de licuefacción/refrigeración criogénica tal como un sistema de licuefacción/refrigeración de helio y un sistema de re-licuefacción de gas natural, mediante la utilización efectiva del calor residual generado en el compresor y el calor sensible del gas descargado del compresor, no realizándose tal utilización en el pasado con una máquina de refrigeración química ni máquina de refrigeración por compresión de vapor para la producción de medio frío para el pre-enfriar del gas descargado desde el compresor antes de introducir el gas en un intercambiador de calor en una cámara de frío.

**Antecedentes**

15 En el aparato de licuefacción/refrigeración de criogénica de la técnica anterior, el compresor se sitúa en un entorno a temperatura ambiente, y el gas a licuar se debe enfriar a su temperatura de licuefacción, es decir, temperatura de ebullición (por ejemplo, aproximadamente -269 °C en el caso de helio) en la sección de enfriamiento, por lo que la diferencia de temperatura es muy grande y la eficacia de refrigeración del aparato es muy baja en comparación con las máquinas de refrigeración habituales. Por lo tanto, un medio de enfriamiento (medio de enfriamiento adicional) se introduce desde el exterior del sistema con el fin de aumentar la eficacia de refrigeración. En el caso de sistemas de licuefacción/refrigeración de helio, el nitrógeno líquido es ampliamente utilizado como medio de enfriamiento adicional.

20 Como un ciclo para la licuefacción de helio se conoce un ciclo cerrado que utiliza helio como refrigerante y un sistema capaz de realizar el ciclo se divulga en la literatura de patente 1 (Solicitud de Patente Japonesa Bajo Inspección n.º 60-44.775).

25 La Figura 5 es un diagrama esquemático del sistema divulgado en la literatura de patente 1. En el dibujo, el número de referencia 01 es una cámara de frío con aislamiento térmico mantenida bajo vacío, los números de referencia 02 a 06 son un primero a quinto de intercambiadores de calor por etapas dispuestos en la cámara de frío 01, 07 y 08 son respectivamente una primera y una segunda turbinas de expansión, 09 es una válvula de expansión de Joule-Thomson (J/T), 010 es un separador de gas-líquido para la separación de helio líquido a partir de una mezcla de helio líquido/gas. El número de referencia 012 es un compresor, 013 es una línea de alta presión, 014 es una línea de baja presión, 015 es una línea de turbina, y 016 es una línea de pre-enfriamiento en la que el nitrógeno líquido fluye para enfriar el gas de helio comprimido.

35 En el aparato de licuefacción/refrigeración de helio de la técnica anterior, el gas de helio a alta temperatura y alta presión descargado desde el compresor 012 fluye en la línea de alta presión 013 del primer intercambiador de calor por etapas en la que el gas de helio se enfría por intercambio de calor con el nitrógeno líquido que fluye en la línea de pre-enfriamiento 016 y con el gas de helio fluyendo en la línea de baja presión 014, a continuación, fluye a través de la línea de alta presión 013 del segundo intercambiador de calor por etapas 03 para enfriarse aún más. Una porción del gas de helio de alta presión que ha fluido fuera del segundo intercambiador de calor 03 fluye al interior de la primera turbina de expansión 07, y la porción restante fluye a través de la línea de alta presión 013 del tercer intercambiador de calor por etapas 04 para enfriarse aún más, fluye además a través del cuarto intercambiador de calor por etapas 05 y el quinto intercambiador de calor por etapas 06 para enfriarse aún más y fluir al interior de la válvula de expansión J/T 09.

40 El gas de helio que ha entrado en la primera turbina de expansión 07 se expande adiabáticamente en su interior a para suministrarse con una presión media y baja temperatura, a continuación, entra en la segunda turbina de expansión 08, después de enfriar el gas de helio que fluye en la línea de baja presión 014 del tercer intercambiador de calor por etapas 04, se expande aún más en la segunda turbina de expansión 08 para suministrarse con presión y temperatura bajas, y después se hace fluir en la línea de baja presión 014 del cuarto intercambiador de calor por etapas 05, manteniendo así la baja temperatura del gas de helio en la línea de baja presión 014. El gas de helio a alta presión y baja temperatura que ha alcanzado la válvula de expansión J/T 09 experimenta la expansión de Joule-Thomson allí y se licúa parcialmente, el helio líquido 011 se almacena en el separador de gas-líquido 010, y el as de helio que permanece a baja temperatura y a baja presión se hace retornar al compresor 012 a través de la línea de baja presión 014 que pasa a través de los intercambiadores de calor 06-02.

55 En la literatura de patente 2 (Solicitud de Patente Japonesa Bajo Inspección n.º 10-238889) se divulga un sistema de licuefacción/refrigeración de helio en el que un sistema de generación de electricidad de turbina de gas de velocidad variable capaz de controlar la capacidad eficaz de un grupo de compresores de múltiples etapas accionados por motores eléctricos se añade a al sistema de licuefacción/refrigeración de helio antes mencionado, haciendo posible de este modo utilizar la fuente de frío del sistema y para recuperar el calor residual del sistema. El sistema comprende una sección de generación de electricidad de turbina de gas que incluye un convertidor de frecuencia, una sección de suministro de combustible, y un sistema de refrigeración química, estando el sistema de refrigeración

5 química compuesto para suministrar energía fría para los intercambiadores de calor del sistema utilizando el gas residual de la sección de generación de electricidad de turbina de gas como una fuente de calor y comprendiendo la sección de suministro de combustible un dispositivo de calentamiento para gasificar una porción del gas natural licuado suministrado desde un depósito de gas natural licuado y una sección de vaporización para suministrar energía fría correspondiente al calor latente de vaporización del gas natural licuado.

10 Con la construcción, se pretende mejorar la eficacia térmica del sistema a través de la generación de potencia eléctrica de frecuencia óptima y de forma de onda homogénea dando cabida a la combinación del grupo de compresores de múltiples etapas de manera que cada uno de los motores de inducción para el accionamiento de los compresores se accione a una velocidad de giro para satisfacer la demanda del lado de carga consiguiendo de esta manera la eficacia óptima de los compresores, y proporcionando la sección de generación de electricidad de turbina de gas con gas natural, por ejemplo, gas natural licuado, la sección de suministro de combustible, y la máquina de refrigeración química combinando de este modo la sección de vaporización en la que la energía fría correspondiente al calor latente de vaporización del gas natural licuado se genera y la máquina de refrigeración química en la que la energía fría se genera mediante la utilización del calor residual de la sección de generación de electricidad de turbina de gas.

Literatura de patente 1: Solicitud de Patente Japonesa Bajo Inspección n.º 60-44.775.

Literatura de patente 2: Solicitud de Patente Japonesa Bajo Inspección n.º 10-238889.

### Divulgación de la invención

#### Problemas a resolver

20 Casi la totalidad de la entrada de potencia necesaria para la operación de los sistemas de licuefacción/refrigeración criogénica es para comprimir el gas a licuar. Para reducir la entrada de potencia al compresor para comprimir el gas a licuar, es eficaz disminuir la temperatura del gas a licuar aspirado por el compresor reduciendo se este modo el volumen específico del gas. Sin embargo, para tal fin es necesario enfriar el gas de aspiración a una temperatura inferior a la de la temperatura ambiente, y equipo de energía tal como la máquina de refrigeración se requiere.

25 Por otro lado, en un sistemas de licuefacción/refrigeración de la técnica anterior, el gas a alta temperatura y a alta presión descargado desde el compresor se enfría a una temperatura cerca de la temperatura ambiente (temperatura normal) generalmente por un enfriador posterior enfriado por agua antes de introducir el gas a los intercambiadores de calor proporcionados en la cámara de frío con el fin de evitar la disminución de la eficacia de refrigeración del sistema.

30 El gas a alta presión descargado desde el compresor y que pasa a través de la línea de alta presión y el gas a baja presión que pasa a través de la línea de baja presión a aspirarse en el compresor, intercambiar calor entre sí en cada etapa del intercambiador de calor. La temperatura de gas a la salida de cada etapa del intercambiador de calor y aquella a la salida de cada uno del intercambiador de calor son aproximadamente la misma, aunque existe una pequeña diferencia entre ambas temperaturas. Por lo tanto, la temperatura del gas aspirado en el compresor no se puede bajar sin reducir la temperatura del gas a alta presión introducido en la primera etapa del intercambiador de calor en la cámara de frío.

Por lo tanto, la entrada de potencia al compresor no se puede reducir sin reducir esta temperatura, y el calor residual generado en el compresor, es decir, la pérdida de calor de fricción en el compresor y el calor sensible del gas a alta presión y alta temperatura se desperdicia sin resultado.

40 En el sistema de licuefacción/refrigeración de helio de la técnica anterior mostrado en la Figura 5, el gas de helio a temperatura normal y a alta presión descargado desde el compresor 012 se ha introducido en el primer intercambiador de calor por etapas 02 a través de la línea de alta presión 013 y se ha enfriado mediante el intercambio de calor con nitrógeno líquido introducido a través de la línea de pre-enfriamiento 016, el coste de funcionamiento se aumentará debido a la provisión de línea de pre-enfriamiento para el suministro de nitrógeno líquido, y además, siguen existiendo los problemas de que, como gas de helio de temperatura cerca de la normal se enfría a medida que el gas fluye a través de la pluralidad de intercambiadores de calor por etapas, un gran número de etapas de intercambiador de calor son necesarios, y que debido a que no se puede recuperar el calor residual generado en el compresor 012, no se incrementa de eficacia de refrigeración del sistema.

50 En el caso de un sistema que utiliza nitrógeno líquido como medio de enfriamiento adicional, el nitrógeno líquido producido en una planta de licuefacción de nitrógeno a gran escala se suministra por medios de transporte tal como un camión cisterna. Por lo tanto, hay problemas desde el punto de vista de coste de suministro y de funcionamiento estable, y además, incluso si la entrada de potencia requerida para la operación del sistema de licuefacción/refrigeración de helio se puede reducir, la entrada de potencia requerida para producir nitrógeno líquido es mayor que la reducción de entrada de potencia en el sistema, por lo que, la potencia total consumida para la operación del sistema aumenta.

55 En el sistema de licuefacción/refrigeración de helio divulgado en la literatura de patente 2, la eficacia térmica del

- sistema se incrementa mediante el suministro de energía fría generada por la máquina de refrigeración química que utiliza el gas de escape de la sección de generación de electricidad de turbina de gas como fuente de calor y por el suministro de energía fría correspondiente a el calor latente de vaporización del gas natural licuado a los intercambiadores de calor. El calor latente de vaporización del gas natural licuado se utiliza en lugar del nitrógeno líquido por estos medios, pero no hay una diferencia fundamental en comparación con el sistema de la técnica anterior de la Figura 5 en la que se realiza un pre-enfriamiento con nitrógeno líquido introducido a través de la línea de pre-enfriamiento 016. Por lo tanto, la temperatura del gas descargado desde el compresor no se puede bajar, y siendo existiendo el mismo problema que en el sistema de la técnica anterior de la Figura 5 de que la entrada de potencia al compresor no se puede reducir.
- En vista de los problemas mencionados anteriormente, el objeto de la invención es reducir al mínimo el consumo total de potencia y aumentar la eficacia de refrigeración del sistema, mediante la reducción de la entrada de potencia requerida para accionar el compresor que consume la parte más grande de la entrada de potencia para la operación del sistema a través de la reducción del volumen específico del gas a licuar, aspirado en el compresor mediante la reducción de la temperatura del gas sin reducir la eficacia de refrigeración del sistema de licuefacción/refrigeración, mediante reducción del tamaño del sistema a través de la reducción del número de intercambiadores de calor para enfriar el gas a licuar y mediante la utilización efectiva del calor residual generado en el compresor o la entrada de potencia al compresor.

### Medios para resolver los problemas

- Para alcanzar el objetivo, la presente invención propone un método de licuefacción/refrigeración criogénica que incluye las etapas de, pre-enfriar el gas a licuar, a alta temperatura y alta presión descargado desde un compresor, introducir el gas a un intercambiador de calor de múltiples etapas para su enfriamiento secuencial, licuar una porción del gas al permitir que el gas se expanda adiabáticamente, y utilizar el gas a baja presión y baja temperatura no licuado como medio de enfriamiento en el intercambiador de calor y después retornar el gas al compresor, en el que el gas comprimido por el compresor y pre-enfriado se enfría aún más por una máquina de refrigeración química que utiliza el calor residual generado en el compresor como fuente de calor, y el gas a licuar, enfriado, se introduce a las múltiples etapas del intercambiador de calor.

- En el método de la invención, la temperatura del gas a baja temperatura y baja presión que se ha hecho retornar al compresor mientras se enfría el gas a licuar, a alta presión en el intercambiador de calor de múltiples etapas se puede reducir mediante el enfriamiento adicional del gas a licuar, a alta presión, que se descarga desde el compresor y se pre-enfría, por la máquina de refrigeración química, que utiliza calor residual, es decir, calor de fricción generado en el compresor como fuente de calor, de modo que el gas a alta presión se introduce en el intercambiador de calor a una temperatura reducida.

- Es preferible que el gas a licuar a alta presión enfriado por la máquina de refrigeración química se enfríe aún más mediante una máquina de refrigeración por compresión de vapor, después el gas se introduce en las múltiples etapas del intercambiador de calor.

- La presente invención propone un sistema de licuefacción/refrigeración criogénica que incluye un compresor para la compresión del gas a licuar a alta temperatura y alta presión, un enfriador posterior para pre-enfriar el gas descargado desde el compresor, un intercambiador de calor de múltiples etapas para el enfriamiento secuencial del gas pre-enfriado, una válvula de expansión para expandir el gas enfriado en el intercambiador de calor de múltiples etapas para cambiarse en una mezcla de líquido y gas, un separador de gas/líquido para separar el líquido de la mezcla y almacenar el líquido, y un paso de retorno para retornar el gas separado del líquido en el separador de gas/líquido al compresor después de servir como medio de enfriamiento para el intercambiador de calor de múltiples etapas, en el que el sistema incluye, además, una máquina de refrigeración química que utiliza como su fuente de calor, el calor residual generado en el compresor para pre-enfriar aún más el gas pre-enfriado por el enfriador posterior.

- En la invención, una máquina de refrigeración química que utiliza el calor residual, se proporciona es decir, el calor de pérdida por fricción generada en el compresor como fuente de calor para que el gas a licuar a alta presión descargado del compresor y pre-enfriado por el enfriador posterior se enfríe además antes de introducir gas a alta presión en un intercambiador de calor de múltiples etapas dispuesto en una cámara de frío. A continuación, el gas a alta presión se enfría por intercambio de calor con el gas a baja temperatura y baja presión que se retorna de un separador de gas/líquido al compresor.

- La temperatura del gas a baja temperatura y baja presión se puede controlar a una temperatura deseada dirigiendo una porción del gas a alta presión hasta las turbinas de expansión que ser ampliado para expandirse en su interior y permitir que el gas expandido reduzca su presión y temperatura para unirse al gas a baja temperatura y baja presión que retorna del separador de gas/líquido al compresor.

La temperatura del gas a alta presión que entra en cada etapa del intercambiador de calor de múltiples es aproximadamente la misma que la del gas a baja temperatura y baja presión que sale de cada etapa del intercambiador de calor de múltiples etapas aunque hay una cierta diferencia de temperatura entre ambas. Por lo

tanto, la temperatura del gas a baja presión en la entrada del compresor se puede reducir al reducir la temperatura del gas a alta presión que entra la primera etapa del intercambiador de calor de múltiples etapas. El sistema alcanza la reducción de entrada de potencia al compresor mediante la utilización efectiva del calor generado en el compresor, es decir, el calor de pérdida por fricción como una fuente de calor de la máquina de refrigeración química.

Como resultado, de acuerdo con la invención, la eficacia total de refrigeración (cantidad de gas licuado o capacidad de refrigeración por unidad de potencia consumida) del sistema se puede aumentar. La temperatura del calor residual descargado del compresor es de 60-80 °C. Una máquina de refrigeración química, tal como una máquina de refrigeración por adsorción y una máquina de refrigeración por absorción, tiene la característica de ser capaz de recuperar el calor residual. El agua fría a 5-10 °C se puede producir por la máquina de refrigeración química utilizando agua caliente a 60-80 °C mediante la recuperación de calor residual generado en el compresor o utilizando el calor sensible del gas descargado desde el compresor o utilizando de ambos calores.

En la invención, es preferible que una de máquina de refrigeración por compresión de vapor se proporcione para enfriar aún más el gas pre-enfriado por dicha máquina de refrigeración química antes de que entre en el intercambiador de calor de múltiples etapas.

Además, es preferible que una porción de un medio de enfriamiento a baja temperatura enfriada por la máquina de refrigeración química se suministre además a un condensador de la máquina de refrigeración por compresión de vapor como medio de enfriamiento para el condensador de modo que la presión se reduzca en el proceso de condensación en la máquina de refrigeración por compresión de vapor mediante la disminución de la temperatura en el proceso de condensación y la eficacia de refrigeración de la máquina de refrigeración por compresión de vapor se aumenta.

Además, es preferible que se proporcione un depósito de carga para almacenar el gas licuado introducido desde el separador de gas/líquido, y un compresor para la compresión del gas desprendido por ebullición evaporado en el depósito de carga y una línea de pre-enfriamiento para introducir el gas desprendido por ebullición en el compresor e introducir el gas desprendido por ebullición comprimido a la primera etapa del intercambiador de calor de múltiples etapas como medio de enfriamiento con el fin de utilizar el gas desprendido por ebullición evaporado en el depósito de carga para enfriar el gas a licuar a alta presión en la primera etapa del intercambiador de calor de múltiples etapas y aumentar de eficacia de refrigeración de todo el sistema.

En los sistemas de licuefacción/refrigeración criogénica como los representados por los sistemas de licuefacción/refrigeración de helio, los compresores de tornillo inundados con aceite son ampliamente utilizados. Sin embargo, el aceite de lubricación y un agente de sellado a presión se inyectan en el espacio de compresión del mismo en los compresores de este tipo, por lo que no se pueden operar a temperatura extremadamente baja. Además, una bomba de calor utilizada para la producción de una fuente de frío adicional se reducirá en coeficiente de rendimiento (capacidad de refrigeración/entrada de potencia) por debajo de 1 cuando la temperatura de refrigeración es inferior a -40 °C, y cuanto menor sea la temperatura, menor será la eficacia. Por lo tanto, se obtiene un efecto de reducción de la entrada de potencia de todo el sistema cuando la temperatura del gas de aspiración se disminuye a aproximadamente -35 °C.

Por lo tanto, la refrigeración con un alto efecto de ahorro energético es posible gracias a la recuperación del calor residual generado en el compresor y el calor sensible del gas a alta presión descargado desde el compresor y la utilización de estos calores para producir agua fría a 5-10 °C por la máquina de refrigeración química. Aunque una máquina de refrigeración por compresión de vapor puede producir agua fría de un amplio intervalo de temperatura, su eficacia es inferior a la máquina de refrigeración química cuando se produce agua fría a aproximadamente 5-10 °C. Por lo tanto, es eficaz para enfriar el gas a licuar a una temperatura de aproximadamente -35 °C antes su introducción en el intercambiador de calor en la cámara de frío.

A continuación, la configuración básica del sistema de acuerdo con la invención se explicará con referencia a la Figura 1 en comparación con la configuración básica de un sistema de la técnica anterior. Las Figuras 1a, 1b, y 1c muestran la configuración básica de los sistemas de licuefacción/refrigeración criogénica cuando se licúa gas de helio. La Figura 1a es un sistema de la técnica anterior, la Figura 1b es un sistema de la invención cuando una máquina de refrigeración por adsorción como una máquina de refrigeración química se proporciona para el pre-enfriamiento adicional del gas a alta presión descargado desde el compresor antes de entrar en la cámara de frío, y la Figura 1c es un sistema de la invención cuando una máquina de refrigeración por adsorción y una máquina de refrigeración por amoniaco como una máquina de refrigeración por compresión de vapor se proporcionan en paralelo para pre-enfriar aún más el gas a alta presión descargado desde el compresor antes de entrar en la cámara de frío.

En las Figuras 1a, b, y c, el número de referencia 021 (21) es una cámara de frío para mantener el espacio interior de la misma a baja temperatura. En la cámara de frío se dispone verticalmente un intercambiador de calor de múltiples etapas que consiste en una primera etapa 022 a una 6ª etapa 027 en el caso de la Figura 1 (una primera etapa 22 a una 5ª etapa 26 en el caso de la Figura 1B y una primera etapa 22 a una 4ª etapa 25 en el caso de la Figura 1c). El número de referencia 028, 029 (28, 29) son, respectivamente, una primera y segunda turbinas de expansión, 030 (30) es una válvula de expansión de Joule-Thomson, 031 (31) es un separador de gas/líquido para

separar el helio líquido de una mezcla de líquido/gas de helio. El número de referencia 033 (33) es un compresor, 034 (34) es una línea de gas a alta presión, 035 (35) es una línea de gas a baja presión, 036 (36) indica las líneas de turbina, 037 (37) es un enfriador posterior enfriado por agua para la refrigeración de gas a alta presión descargado desde el compresor antes de su introducción en el intercambiador de calor en la cámara de frío.

5 Los sistemas de la Figura 1b y de la Figura 1c operan básicamente como opera el sistema de la Figura 1a. El gas de helio a alta presión y alta temperatura descargado desde el compresor 033 (33) entra en la primera etapa 022 (22) del intercambiador de calor en la cámara de frío 021 (21) a través de la línea de alta presión 034 (34), donde el gas a alta temperatura y alta presión se enfría por el intercambio de calor con el gas a baja temperatura y baja presión que fluye a través de la línea de baja presión 035 (35) en la primera etapa del intercambiador de calor. El gas a alta  
10 presión se enfría a medida que fluye a través de la línea de alta presión que pasa secuencialmente a través de la segunda, tercera,..., y la última etapa del intercambiador de calor, y entra en la válvula de expansión de Joule-Thomson 030 (30). El gas de helio, que ha entrado en la turbina de expansión 028, 28 (029, 29) se expande adiabáticamente en su interior para reducirse en presión y temperatura y se une al gas a baja presión que fluye en la línea de baja presión 035 (35). Por esto, la temperatura del gas a baja presión que fluye a través de la línea de baja  
15 presión se puede controlar a una temperatura deseada.

El gas a alta presión, baja temperatura ha entrado en la válvula de expansión de Joule-Thomson 030 (30) experimenta la expansión de Joule-Thomson, ha disminuido en temperatura de 4 K (-296 °C), que es la temperatura de ebullición, es decir, la temperatura de licuefacción del helio, y una porción del helio se licúa. El helio licuado 032  
20 (32) se separa en el separador de gas/líquido 031 (31) y se almacena en su interior, y la porción de gas de helio a baja temperatura y baja presión restante vuelve al compresor 033 (33) fluyendo a través de la línea de baja presión 035 (35) que pasa a través de las etapas 027 a 022 (26 a 22, 25 a 22) del intercambiador de calor.

En los sistemas de la Figura 1B y la Figura 1c de la invención se proporciona una máquina de refrigeración por adsorción 38 que utiliza el calor residual generado en el compresor 33 como fuente de calor, y el gas a alta presión refrigerado por el enfriador posterior 37 se enfría además por un intercambiador de calor 39 dispuesto en la línea de  
25 alta presión 34 en el lado aguas abajo del enfriador posterior 37 por un medio de enfriamiento que se produce por la máquina de refrigeración por adsorción y se suministra al intercambiador de calor 39.

En el sistema de la Figura 1c, una máquina de refrigeración por amoniaco 40 se proporciona además, y un medio de enfriamiento producido por la máquina de refrigeración por amoniaco 40 se suministra a un intercambiador de calor  
30 dispuesto en la línea de alta presión 34 en el lado de aguas abajo del intercambiador de calor 39 con el fin de enfriar aún más el gas a alta presión antes de que entre en la primera etapa 22 del intercambiador de calor en la cámara de frío 21. Las temperaturas se escriben en los dibujos en cada proceso.

En el sistema de la Figura 1b de la invención, el gas a alta presión que entra en el primer intercambiador de calor por etapas 22 se baja a 10 °C, y la temperatura del gas a baja presión que entra en el compresor se reduce a -3 °C debido a la temperatura reducida del gas a alta presión que entra en el primer intercambiador de calor por etapas 22.  
35 En el sistema de la Figura 1c de la invención, el gas a alta presión que entra en el primer intercambiador de calor 22 por etapas se reduce a -26, y la temperatura del gas a baja presión que entra en el compresor se reduce a -39 °C.

La entrada de potencia en el compresor se reduce a un 92 % en el caso de la Figura 1b y a un 85 % en el caso de la Figura 1c, en comparación con el 100 % en el caso de la Figura 1a. Además, el número de etapas del intercambiador de calor requeridas para licuar el gas de helio se reduce, y se incrementa de eficacia de refrigeración  
40 de todo el sistema, para la máquina de refrigeración por absorción 38, que utiliza el calor residual generado en el compresor y la máquina de refrigeración por amoniaco 40 para enfriar el gas a alta presión antes de su introducción en el primer intercambiador de calor por etapas 22 en la cámara de frío 21.

### Efecto de la invención

De acuerdo con el método de la invención, el gas a licuar descargado desde un compresor y pre-enfriado se enfría  
45 aún más por una máquina de refrigeración química que utiliza el calor residual generado en el compresor, por lo que el gas se reduce aún más en temperatura antes de su introducción en un intercambiador de calor de múltiples etapas en una cámara de frío. Por lo tanto, la temperatura del gas a baja temperatura y baja presión que se ha hecho retornar al compresor se reduce y el volumen específico del gas a licuar aspirado por el compresor se reduce, y la entrada de potencia al compresor se puede reducir. Además, puesto que el calor residual generado en el  
50 compresor se puede utilizar efectivamente, la eficacia térmica de todo el sistema se puede aumentar notablemente en comparación con el sistema de licuefacción/regeneración criogénica de la técnica anterior.

Al enfriar aún más el gas a licuar enfriado por la máquina de refrigeración química mediante una máquina de refrigeración por compresión de vapor antes de introducir el gas en el intercambiador de calor de múltiples etapas, la temperatura del gas a licuar suministrado al intercambiador de calor se puede disminuir además, y la entrada de  
55 potencia al compresor se puede reducir además.

De acuerdo con el sistema de la invención, la temperatura de gas a licuar introducido en la primera etapa de un intercambiador de calor de múltiples etapas en una cámara de frío se reduce proporcionando una máquina de refrigeración química de manera que el gas se enfría en la zona aguas abajo de un enfriador posterior y antes de su

5 introducción la primera etapa del intercambiador de calor. Por lo tanto, la temperatura de gas a baja temperatura y baja presión que se ha hecho retornar al compresor se reduce y el volumen específico del gas a licuar aspirado por el compresor se reduce, y la entrada de potencia para el compresor se puede reducir. Además, puesto que el calor residual generado en el compresor se puede utilizar efectivamente, la eficacia térmica de todo el sistema se puede aumentar notablemente en comparación con el sistema de licuefacción/refrigeración criogénica de la técnica anterior.

Además, puesto que la temperatura del gas a licuar suministrado a la primera etapa del intercambiador de calor de múltiples etapas en la cámara de frío se reduce, el número de etapas del intercambiador de calor de múltiples etapas se puede reducir, lo que contribuye a reducción del tamaño del sistema.

10 Al proporcionar una máquina de refrigeración por vapor para enfriar aún más el gas a licuar enfriado por la máquina de refrigeración química antes de introducir el gas en el intercambiador de calor de múltiples etapas, la temperatura del gas a licuar suministrado al calor intercambiador se puede bajar además, y la entrada de potencia al compresor se puede reducir aún más.

15 Además, mediante la composición de tal manera que una porción del medio de enfriamiento generado en la máquina de refrigeración química se suministra al condensador de la máquina de refrigeración por compresión de vapor como medio de enfriamiento para el condensador con el fin de reducir la temperatura de condensación del refrigerante en la máquina de refrigeración por compresión de vapor, la presión en el proceso de condensación se reduce y la eficacia de refrigeración de la máquina de refrigeración por compresión de vapor se puede aumentar.

#### Breve descripción de los dibujos

20 Las Figuras 1a, 1b, y 1c son diagramas esquemáticos para explicar la configuración básica del sistema de acuerdo con la presente invención en comparación con un sistema de la técnica anterior;

La Figura 2 es un diagrama esquemático de la primera realización del sistema de acuerdo con la invención;

La Figura 3 es un diagrama esquemático de la segunda realización del sistema de acuerdo con la invención;

La Figura 4 es un diagrama esquemático de la tercera realización del sistema de acuerdo con la invención; y

25 La Figura 5 es un diagrama esquemático de un sistema de licuefacción/refrigeración criogénica de la técnica anterior.

#### Explicación de los números de referencia

01, 021, 21, y 65: cámara de frío,

02, 022, 22, 66, y 107: el primer intercambiador de calor,

30 03, 023, 23, 67, y 108: el segundo intercambiador de calor,

04, 024, 24, y 68: el tercer intercambiador de calor,

05, 025, 25, y 69: el cuarto intercambiador de calor,

06, 026, 26, y 70: el quinto intercambiador de calor,

027 y 71: el sexto intercambiador de calor,

35 07, 028, y 28: la primera turbina de expansión,

08, 029, y 29: la segunda turbina de expansión,

09, 030, 30, y 112: válvula de expansión de Joule-Thomson,

010, 031, 31, 82, y 113: separador de gas-líquido,

011, 032, y 32: helio líquido,

40 012, 033, 33, 51, y 101: compresor,

013, 034, 34, 52, y 102: línea de gas a alta presión,

014, 035, 35, 83, y 109: línea de gas a baja presión,

015, 036, y 36: línea de turbina,

016: línea de enfriamiento de helio líquido,

- 37: enfriador posterior,  
 38 y 61: máquina de refrigeración por adsorción,  
 39, 41, y 91: intercambiador de calor,  
 40: máquina de refrigeración por amoniaco,  
 5 53: separador de aceite,  
 54 y 103: enfriador posterior primario,  
 55 y 104: enfriador posterior secundario,  
 56: dispositivo de recuperación de calor,  
 57: enfriador de aceite,  
 10 59: línea de agua caliente,  
 62: línea de circulación de agua a baja temperatura,  
 81: dispositivo de absorción de impurezas,  
 92: máquina de refrigeración por amoniaco,  
 92a: condensador,  
 15 93: línea de derivación,  
 105: depósito principal,  
 114: depósito de carga  
 115: compresor BOG  
 116: línea de tubería de gas inerte, y  
 20 117: válvula

**Mejor modo de realización de la invención**

Las realizaciones preferidas de la presente invención se detallarán con referencia a los dibujos adjuntos. Se pretende, sin embargo, que salvo que se especifique particularmente, las dimensiones, materiales, posiciones relativas y así sucesivamente de las partes constituyentes en las realizaciones se interpretarán como ilustrativos solamente y no como limitativos del alcance de la presente invención.

**[La primera realización]**

La Figura 2 es un diagrama esquemático de la primera realización de la invención aplicada a un sistema de licuefacción/refrigeración de helio. En el dibujo, el número de referencia 51 es un compresor, en una línea de alta presión 52, extendiéndose desde la salida de la misma se proporcionan un separador de aceite 53, un enfriador posterior primario 54, un enfriador posterior secundario 55 en este orden. El aceite de lubricación del compresor mezclado en el gas a alta presión descargado desde el compresor 51 se separa en el separador de aceite 53, el aceite de lubricación proporciona calor al agua caliente que fluye a través de una tubería de agua caliente 59 en un dispositivo de recuperación de calor 56, después se enfría en un refrigerador de aceite 57 y se hace retornar al compresor 51 por medio de una bomba de aceite 58.

El gas a alta presión que se ha desecho del aceite de lubricación en el separador de aceite 53 se enfría en un enfriador posterior primario 54 y en un enfriador posterior secundario 55. El agua caliente calentada por el aceite de lubricación y que fluye en la tubería de agua caliente 59 se introduce en una máquina de refrigeración por adsorción 61 para utilizarse como una fuente de calor para el accionamiento de la máquina de refrigeración por adsorción 61. La máquina de refrigeración por adsorción 61 es una generalmente conocida, y el agua a baja temperatura generada en su interior se envía al segundo enfriador posterior a través de una línea de circulación a baja temperatura 62 para utilizarse como una fuente de frío para enfriar el gas a alta presión.

El gas a alta presión se suministra a una cámara de frío 65 después de que se enfría en el segundo enfriador posterior 55 por medio de un separador de aceite de precisión 64.

Los intercambiadores de calor 66-75 de la 1ª a la 10ª etapas se disponen en la cámara de frío 65. El gas a alta presión intercambia calor, en estos intercambiadores de calor, con el gas a baja presión que retorna al compresor



51. Los números de referencia 76-79 son turbinas de expansión para permitir que una porción del gas a alta presión derivada de la línea de alta presión 52 pase a través de los intercambiadores de calor 66-75 para expandirse adiabáticamente en su interior para suministrarse con baja temperatura y presión. Cada uno de los gases que se han escapado de cada una de las turbinas de expansión se envía a la línea de baja presión 85 para retornar al compresor 51 manteniendo de este modo el gas a baja presión que fluye a través de la línea de baja presión a baja temperatura. La turbina de expansión 76 sirve de manera similar al nitrógeno líquido suministrado a través de la línea de pre-enfriamiento 016 en el sistema de la técnica anterior mostrado en la Figura 5.

El número de referencia 80 es una turbina de expansión para permitir que una porción del gas a alta presión se expanda adiabáticamente de manera similar que en las turbinas de expansión 76-79 para proporcionarse con baja temperatura y presión media. El gas suministrado con baja temperatura y presión media se expande a través de una válvula de expansión de Joule-Thomson (J/T) 84, donde el gas cambia a una mezcla de líquido y gas y se introduce en un separador de gas-líquido 82. Esto sirve después para enfriar el separador de gas/líquido 82. El gas a alta presión que fluye a través de la línea de alta presión 52 se expande a través de una válvula de expansión de J/T 83, donde el gas cambia a una mezcla de líquido y gas y se introduce en el separador de gas-líquido 82. El helio líquido separado en el separador de gas/líquido 82 se puede utilizar después para refrigerar una carga no representada en el dibujo. El gas de la mezcla de helio líquido/gas se extrae a través de la línea de baja presión 85 a través de los intercambiadores de calor 75-66 al compresor 51. El número de referencia 81 es un dispositivo de adsorción de impurezas para la eliminación de impurezas en el gas a alta presión. Los valores numéricos rodeados por cuadrángulos indican la temperatura en cada proceso.

De acuerdo con la primera realización, el calor residual del aceite de lubricación después de lubricar el compresor 51 se recupera por el dispositivo de recuperación de calor 56, y el gas a alta presión descargado desde el compresor 51 se puede enfriar por el agua a baja temperatura generada por la máquina de refrigeración por adsorción 61 que utiliza el calor residual del aceite de lubricación.

Puesto que el gas a alta presión descargado desde el compresor 51 se puede enfriar en el enfriador posterior secundario 55 después de que se enfría en el enfriador posterior primaria 54 por dicha agua a baja temperatura, el gas a alta presión se puede reducir en temperatura antes de que entre en la cámara de frío 65.

Por lo tanto, como la temperatura del gas a baja presión que se ha hecho retornar al compresor 51 se puede reducir a una temperatura aproximadamente igual a la del gas a alta presión que entra en la cámara de frío 65, el volumen específico del gas aspirado por el compresor 51 se puede reducir, como resultado la entrada de potencia al compresor 51 se puede reducir, y puesto que la temperatura del gas a alta presión que entra en la cámara de frío se puede reducir, el número de los intercambiadores de calor para la licuefacción de gas de helio se puede reducir y la reducción del tamaño de la cámara de frío se puede lograr .

Además, puesto que el calor del aceite de lubricación recibido en el compresor 51 se recupera y se utiliza como fuente de calor para la máquina de refrigeración por adsorción 61, la eficacia de refrigeración de todo el sistema se puede aumentar.

### [La segunda realización]

A continuación, la segunda realización del sistema de acuerdo con la invención se explicará con referencia a la Figura 3. La segunda realización es diferente de la primera realización mostrada en la Figura 2 en que se añade un intercambiador de calor 91 en el lado aguas abajo del separador de aceite de precisión 64 en la línea de alta presión 52 y, además, se añade una máquina de refrigeración por amoníaco 92 como una máquina de refrigeración por compresión de vapor para el suministro de refrigerante a baja temperatura al intercambiador de calor 91 y una derivación 93, el resto de la configuración es la misma que la de la primera realización. En la Figura 3, los valores numéricos rodeados de cuadrángulos indican la temperatura en cada proceso.

En la segunda realización, el gas a alta presión que se ha pre-enfriado en el enfriador posterior secundario 55 y se ha hecho pasar a través del separador de aceite de precisión 64 se enfría además en el intercambiador de calor 91 por el refrigerante suministrado desde la máquina de refrigeración por amoníaco 92. Una porción del agua a baja temperatura se suministra desde la máquina de refrigeración por adsorción 61 a un condensador 92a de la máquina de refrigeración por amoníaco 92 a través de la línea de derivación 93. Por esto, la temperatura de condensación en la máquina de refrigeración de amoníaco se reduce y la presión en el proceso de condensación se reduce dando como resultado una mayor eficacia de refrigeración de la máquina de refrigeración de amoníaco.

De acuerdo con la segunda realización, se consigue el mismo trabajo y efecto que la primera realización, y además de que el gas a alta presión que entra en la cámara de frío 65 se puede reducirse aún más en temperatura, en consecuencia la entrada de potencia al compresor se puede reducir además y el número de los intercambiadores de calor en la cámara de frío 65 puede reducir aún más.

Además, puesto que la máquina de refrigeración de amoníaco 92 utiliza la energía fría del agua de baja temperatura de la máquina de refrigeración por adsorción 61, la eficacia de refrigeración de todo el sistema se puede aumentar en gran medida.

La primera realización corresponde al sistema de la Figura 1b, y la segunda realización corresponde al sistema de la Figura 1c. Como se muestra por los valores numéricos en los dibujos, la entrada de potencia al compresor se reduce en aproximadamente un 8 % en el sistema de la Figura 1b, en aproximadamente un 15 % en el sistema de la Figura 1c, en comparación con el sistema de la técnica anterior mostrado en la Figura 1a.

- 5 FOM eficacia del sistema (1/COP (coeficiente de rendimiento): entrada de potencia necesaria para accionar el compresor por unidad de volumen) se mejora en comparación con el sistema de la técnica anterior de la Figura 1a en aproximadamente un 8 % en el sistema de la Figura 1b y en aproximadamente un 11 % en el sistema de la Figura 1c.

**[La tercera realización]**

10 A continuación, se explicará la tercera realización en un caso en que la presente invención se aplica a un sistema de re-licuefacción de gas natural al que se hace referencia a la Figura 4. En el dibujo, el número de referencia 101 es un compresor. Un enfriador posterior primario 103 y un enfriador posterior secundario 104 se proporcionan en este orden en una línea de gas a alta presión 102. El gas a alta presión descargado desde el compresor 101 se enfría por estos enfriadores posteriores. El número de referencia 105 es una máquina de refrigeración química tal como una  
 15 máquina de refrigeración por adsorción o máquina de refrigeración por absorción, por lo que el agua fría se produce utilizando el calor residual tal como la pérdida de calor de fricción del aceite de lubricación recibido durante la lubricación del compresor 101 y retenido en el aceite de lubricación, de la misma manera que en la máquina de refrigeración por adsorción de la primera y segunda realización. Dicha agua fría se suministra a través de una línea de circulación 106 al enfriador posterior secundario 104 como una fuente de frío.

20 El número de referencia 107 es un primer intercambiador de calor por etapas, 108 es un segundo intercambiador de calor por etapas. El gas a alta presión que fluye a través de la línea de alta presión 102 se enfría en los intercambiadores de calor 107 y 108 mediante el intercambio de calor con el gas a baja presión que se ha hecho retornar al compresor 101 a través de una línea de gas a baja presión 109. El número de referencia 110 es una turbina de expansión en la que una porción del gas a alta presión derivada de la línea de alta presión 102 se  
 25 expande adiabáticamente para reducirse en temperatura y presión, y el gas reducido en temperatura y presión se suministra en la línea de gas a baja presión 109 en la parte aguas arriba del segundo intercambiador de calor por etapas 108 para mantener baja la temperatura del gas que retorna al compresor 101 a través de la línea de baja presión. El número de referencia 111 es un depósito principal en el que una pequeña cantidad de gas impuro (que consiste principalmente en aire y el denominado gas inerte) contenida en los gases evaporados en un depósito de carga 114 mencionados más adelante para el almacenamiento de gas natural licuado (LNG) se agrupa, y los gases inertes agrupado son liberados exterior a través de una línea de tubería 116 mediante la abertura de una válvula 117 según sea necesario.

30 El gas a alta presión que fluye a través de la línea de gas a alta presión 102 se hace pasar a través del depósito de carga 111 y a través de una válvula de expansión de Joule-Thomson 112 y se suministra a un separador de gas/líquido 113 como gas a presión media y baja temperatura. Una porción del gas suministrado al separador de gas/líquido 113 se licúa debido a la baja temperatura y el gas se cambia en una mezcla de líquido y gas en el separador de gas/líquido 113. El gas natural en el separador de gas/líquido 113 se hace retornar al compresor 101 a través de la línea de gas de presión inferior 109. El gas natural líquido en el separador de gas/líquido 113 se transfiere al depósito de carga 114 para almacenarse en su interior. El gas evaporado en el depósito de carga 114 se comprime por un compresor BOG (gas desprendido por ebullición) 115, introducido en la línea de gas a baja  
 35 presión 109 en el lado aguas arriba del primer intercambiador de calor por etapas 107, y sirve para enfriar el gas a alta presión en el primer intercambiador de calor por etapas 107. El gas evaporado en el depósito de carga 114 es metano que contiene una pequeña cantidad de gases impuros (principalmente aire). Estos gases impuros se agrupan en el depósito de carga 111 como se ha mencionado anteriormente. En la Figura 4, la presión y la temperatura en cada una de las partes de procesamiento se escriben en el dibujo.

40 De acuerdo con la tercera realización, puesto que el gas a alta presión descargado del compresor 101 se enfría en el enfriador posterior principal 103 y se enfría después aún más en el enfriador posterior secundario 104 por el agua fría producida por la máquina de refrigeración química 105, el gas a alta presión que entra en el primer intercambiador de calor por etapas 107 se puede reducir en temperatura.

45 Por lo tanto, puesto que el gas a baja presión que retorna al compresor 101 a través de la línea de gas a baja presión 109 se puede reducir aproximadamente a la misma temperatura que la del gas a alta presión que entra en el primer intercambiador de calor por etapas 107, el volumen específico del gas aspirado en el compresor 101 se puede reducir, como resultado una entrada de potencia al compresor 101 se puede reducir, y al mismo tiempo el gas a alta presión que entra en el primer intercambiador de calor por etapas 107 se puede reducir en temperatura. De acuerdo con ello, el número de intercambiadores de calor necesarios para licuar el gas natural se puede reducir, lo que contribuye a reducir el tamaño del sistema.

Además, puesto que la máquina de refrigeración química 105 se acciona mediante la utilización del calor residual tal como el calor de pérdida por fricción que el aceite de lubricación ha recibido durante la lubricación del compresor 101, la eficacia de refrigeración de todo el sistema se puede aumentar.

**Aplicabilidad industrial**

De acuerdo con la presente invención, en un sistema de refrigeración para licuefacción criogénica de gas con temperatura de ebullición extremadamente baja tales como el helio y gas natural, la temperatura del gas a la entrada del compresor se puede reducir y la entrada de potencia al compresor se puede reducir de manera efectiva, mediante la utilización del calor residual generado en el compresor y del calor sensible del gas descargado desde el compresor, que convencionalmente no se utiliza, como fuente de calor para una máquina de refrigeración química o máquina de refrigeración por compresión de vapor para producir energía fría para pre-enfriar el gas descargado desde el compresor y reducir la temperatura del gas a la entrada del compresor. De esta manera, un método y sistema de licuefacción/refrigeración para reducir al mínimo la energía total requerida para la operación del sistema se pueden realizar.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de licuefacción/refrigeración criogénica que comprende las etapas de;  
pre-enfriar un gas a licuar, descargado desde un compresor (51), a alta temperatura y alta presión,  
introducir el gas en un intercambiador de calor de múltiples etapas para su enfriamiento secuencial,  
5   licuar una porción del gas al permitir que el gas se expanda adiabáticamente, y  
utilizar el gas no licuado a baja temperatura y baja presión como medio de enfriamiento en dicho intercambiador de calor y después retornar el gas al compresor (51);  
caracterizado por que dicho gas comprimido por el compresor (51) y pre-enfriado se enfría aún más por una  
10   máquina de refrigeración química (61) que utiliza el calor residual en aceite de lubricación descargado y separado del compresor (51) como fuente de calor, y  
el gas a licuar, enfriado, se introduce en las múltiples etapas del intercambiador de calor.
2. Un método de licuefacción/refrigeración criogénica de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho gas a licuar a alta presión, enfriado por dicha máquina de refrigeración química (61), además es enfriado por una máquina de refrigeración por compresión de vapor, después el gas se introduce en las múltiples etapas del intercambiador de calor.  
15
3. Un licuefacción/refrigeración criogénica que comprende;  
un compresor (51) para comprimir el gas a licuar a alta temperatura y alta presión,  
un enfriador posterior para pre-enfriar el gas descargado desde el compresor (51),  
un intercambiador de calor de múltiples etapas para enfriar secuencialmente el gas pre-enfriado,  
20   una válvula de expansión (83) para expandir el gas enfriado en el intercambiador de calor de múltiples etapas para convertirse en una mezcla de líquido y gas,  
un separador de gas/líquido para el almacenamiento de la mezcla de líquido y gas, y  
un paso de retorno para retornar el gas separado del líquido en el separador de gas/líquido al compresor (51) después de servir como medio de enfriamiento para el intercambiador de calor de múltiples etapas;  
25   caracterizado por que además se proporciona un separador de aceite (53) para la separación del aceite de lubricación del gas a licuar descargado desde el compresor (51) y un dispositivo de recuperación de calor (56) para la recuperación del calor en el aceite de lubricación separado por el separador de aceite (53); y  
30   en donde se proporciona además una máquina de refrigeración química (61) que utiliza como fuente de calor el calor descargado y separado del compresor (51) y recuperado después por el dispositivo de recuperación de calor (56) para pre-enfriar aún más el gas pre-enfriado por el enfriador posterior.
4. Un sistema de licuefacción/refrigeración criogénica de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende además una máquina de refrigeración por compresión de vapor (92) para enfriar aún más el gas pre-enfriado por dicha máquina de refrigeración química (61) antes de que entre el intercambiador de calor de múltiples etapas.
5. Un sistema de licuefacción/refrigeración criogénica de acuerdo con la reivindicación 4, en donde una porción de un medio de enfriamiento a baja temperatura enfriado por dicha máquina de refrigeración química (61) se suministra a un condensador (92a) de dicha máquina de refrigeración por compresión de vapor (92) como medio de enfriamiento para el condensador (92a).  
35
6. Un sistema de licuefacción/refrigeración criogénica de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende además;  
un depósito de carga (114) para almacenar el gas licuado introducido desde el separador de gas/líquido,  
40   un compresor (115) para comprimir el gas desprendido por ebullición evaporado en dicho depósito de carga (114) y  
una línea de pre-enfriamiento para introducir el gas desprendido por ebullición en dicho compresor (115) e introducir el gas desprendido por ebullición comprimido en la primera etapa del intercambiador de calor de múltiples etapas como un medio de enfriamiento.

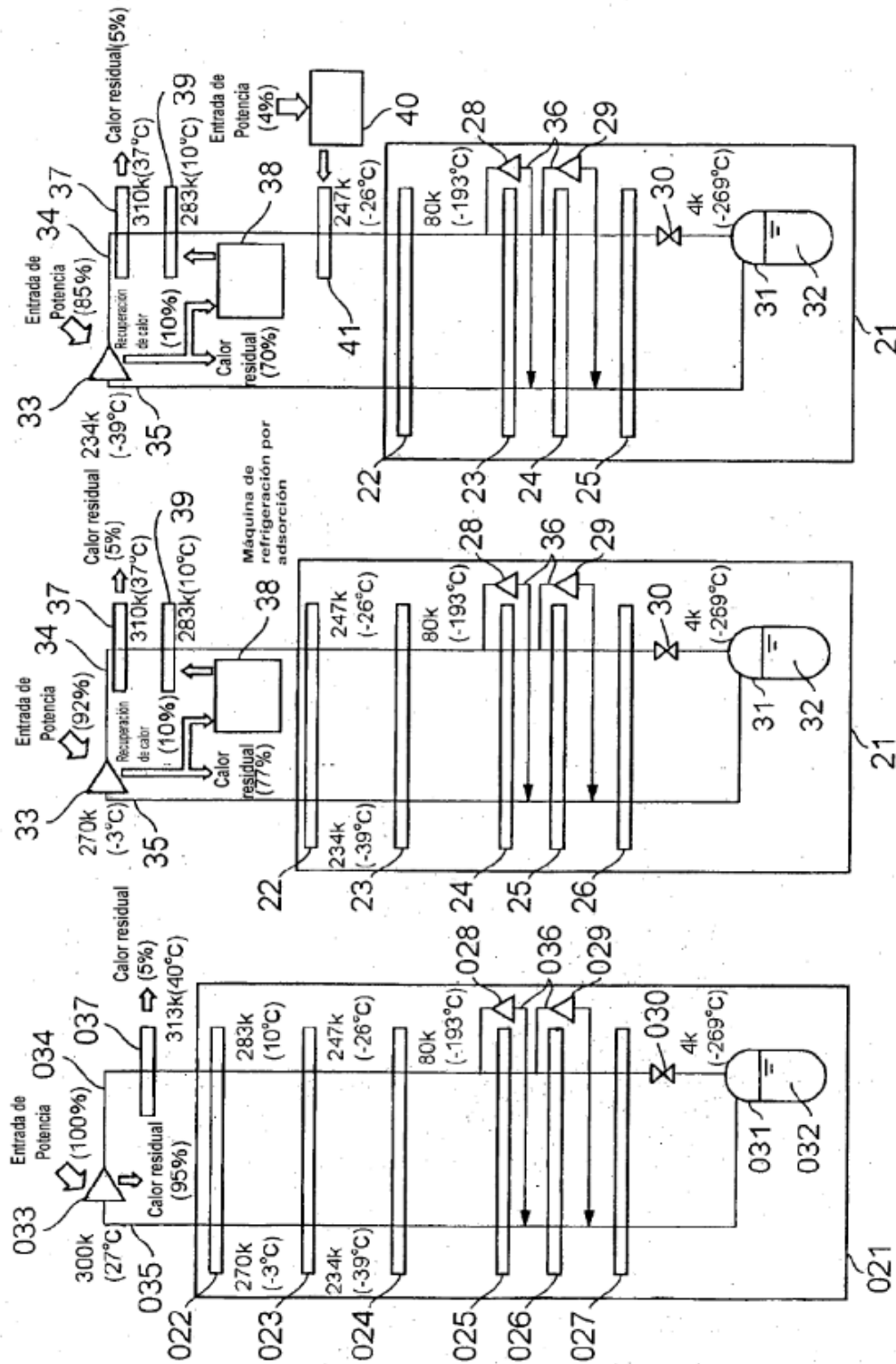


FIG. 1c

FIG. 1b

FIG. 1a

FIG. 2

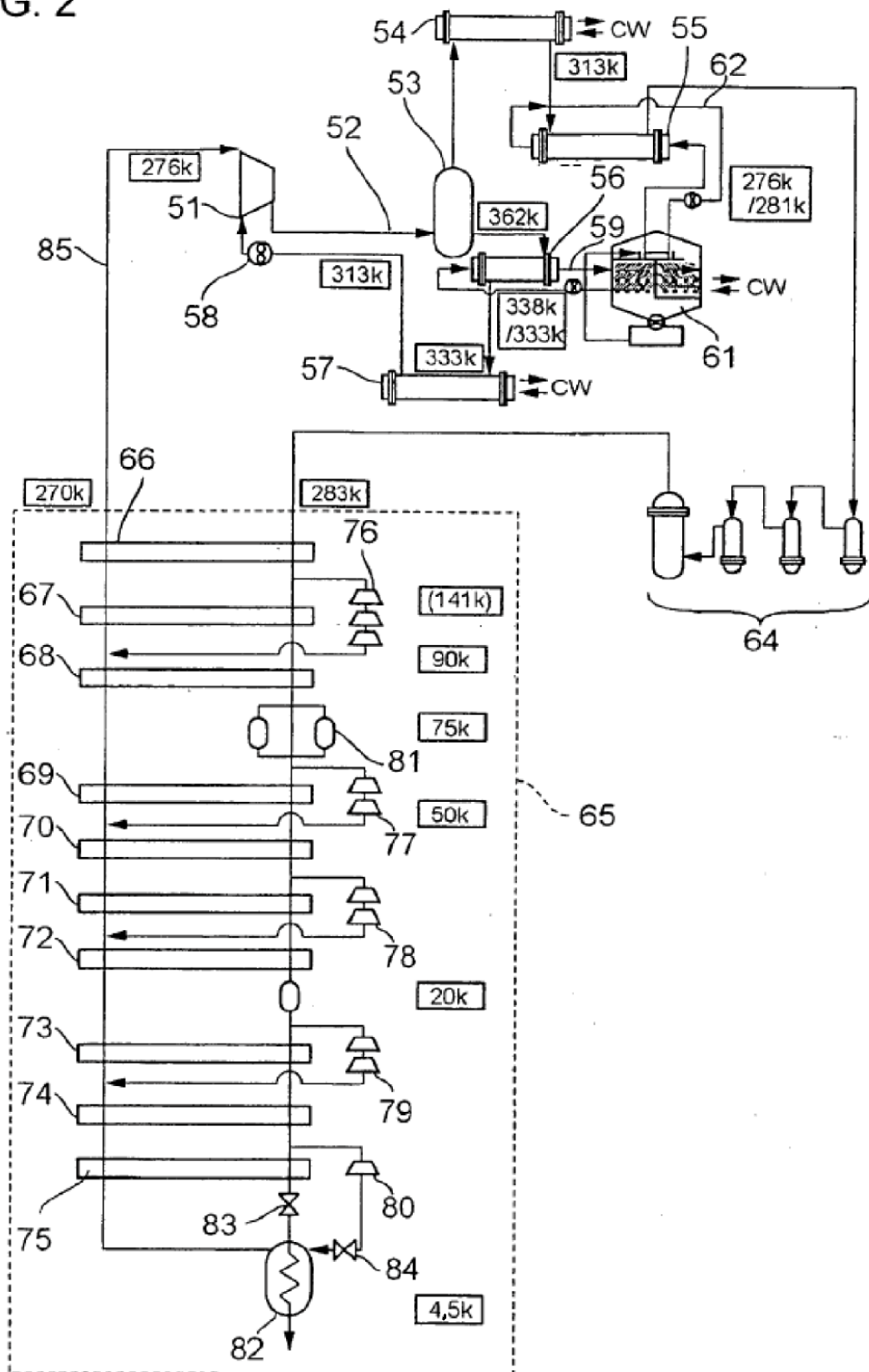


FIG. 3

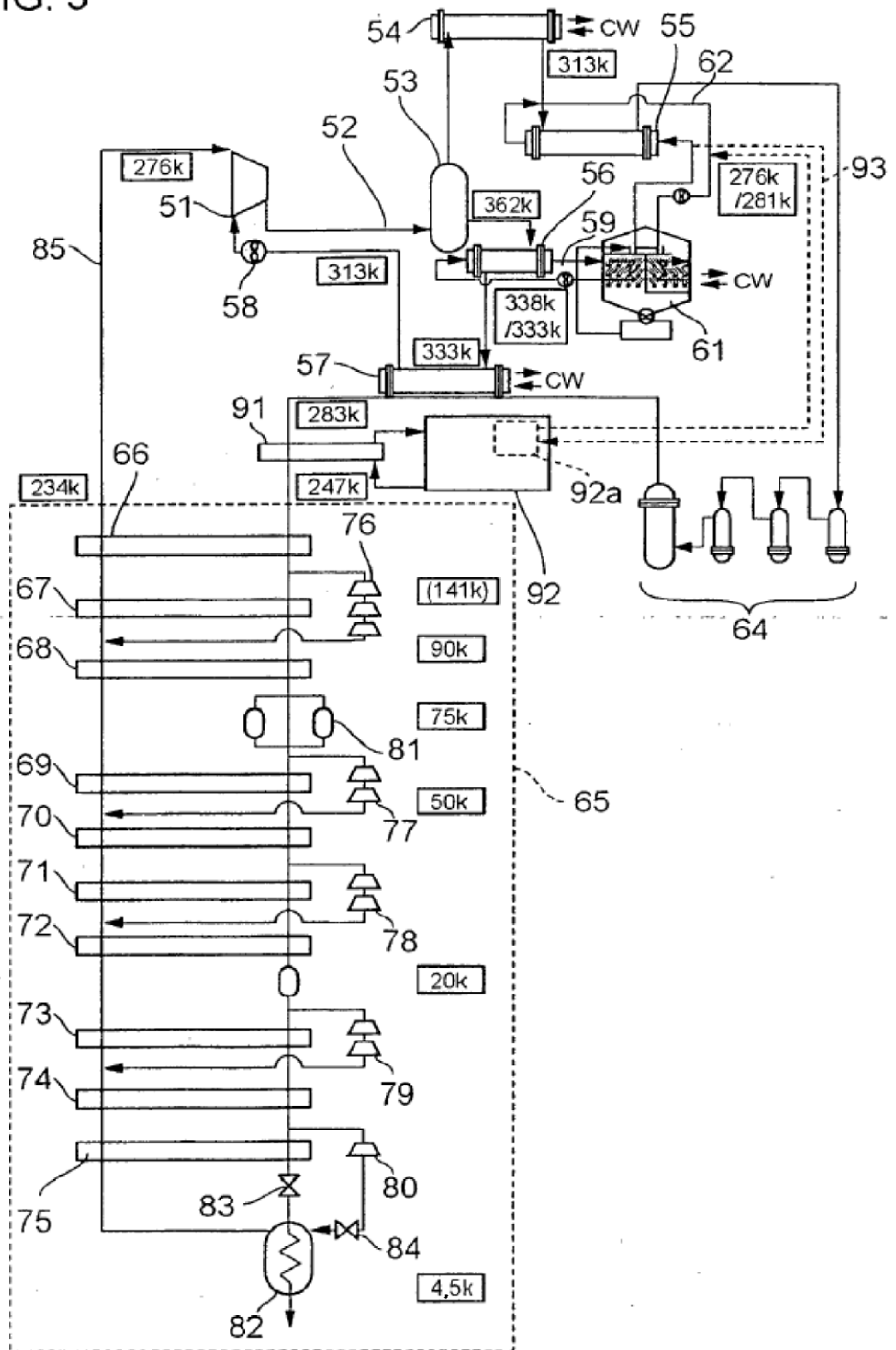


FIG. 4

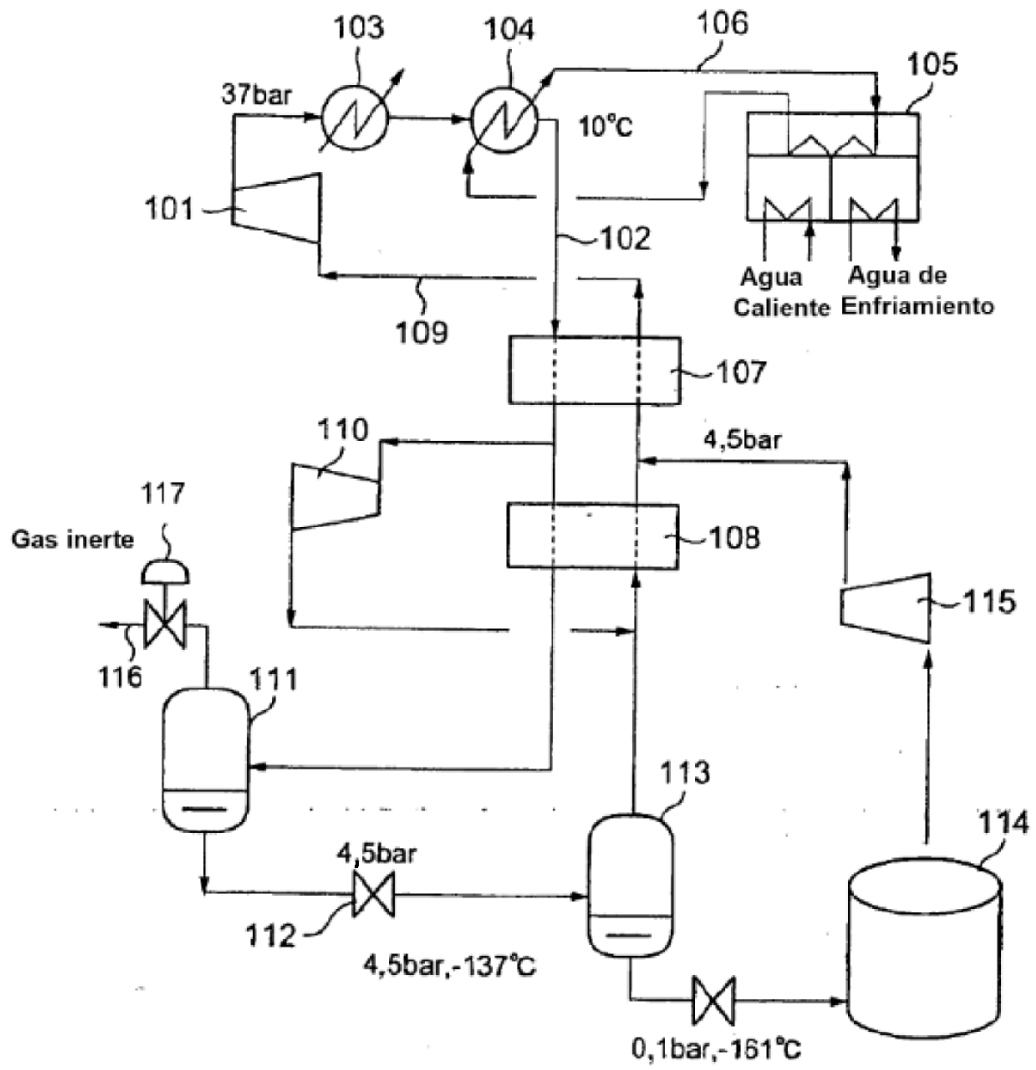




FIG. 5

