

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 586 313**

51 Int. Cl.:

F25J 1/00 (2006.01)

F25J 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.08.2009** **E 09788380 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.05.2016** **EP 2331897**

54 Título: **Procedimiento y sistema de producción de GNL optimizada**

30 Prioridad:

29.08.2008 NO 20083740

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

13.10.2016

73 Titular/es:

**WÄRTSILÄ OIL & GAS SYSTEMS AS (100.0%)
Postboks 144
1371 Asker, NO**

72 Inventor/es:

**JAKOBSEN, ARNE;
RUMMELHOFF, CARL JØRGEN y
HAUKEDAL, BJØRN, HARALD**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 586 313 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de producción de GNL optimizada

Antecedentes de la invención

5 La demanda energética en el mundo está creciendo, y la previsión es que continúe el crecimiento. El gas como portador de energía ha recibido una mayor atención en los últimos años, y se ha predicho que el gas se volverá aún más importante. Para transportar gas a lo largo de distancias más largas, el gas natural licuado, GNL, se considera a menudo la mejor opción, especialmente en el extranjero.

10 El gas inmovilizado o el gas asociado son fuentes de gas que son “productos de desecho” de la producción de petróleo. Estas fuentes de gas raramente se utilizan hoy. Habitualmente se queman. Con los crecientes precios del gas y un mayor enfoque en el medio ambiente, se ha vuelto más viable económicamente y más importante políticamente utilizar estas fuentes. Muchas de estas fuentes están en alta mar, y la licuefacción en una unidad flotante de producción, almacenamiento y descarga, FPSO, es, en muchos casos, la mejor opción. Las FPSO ofrecen flexibilidad, dado que pueden moverse de manera relativamente fácil a otras fuentes. Un desafío respecto a las FPSO es el espacio disponible. Además, el peso del equipo debe minimizarse, y el refrigerante debe ser preferentemente no combustible.

15 Una cuestión importante para la producción de GNL es la demanda energética. El GNL producido a alta demanda energético por kg, es decir consumo específico de energía, lo hace menos aprovechable y menos respetuoso con el medio ambiente. El número de fuentes de gas económicamente viables se estrechará. Además de reducir el coste operativo, una demanda energética específica menor también ahorrará costes de inversión, dado que el equipo será más pequeño.

20 La producción de GNL en tierra no presenta las mismas limitaciones con respecto al peso y el espacio, pero la producción de GNL eficiente energéticamente es igual de importante. A medida que las capacidades de las plantas aumentan, la eficiencia energética se vuelve más importante.

25 La tecnología que implica refrigerante multicomponente, MCR, a menudo en disposiciones en cascadas, es considerada la tecnología más eficiente para la producción de GNL. Se usa habitualmente en plantas más grandes, plantas de carga base y, en cierta medida, en plantas de escala media. Debido a su complejidad, la tecnología es costosa y el control es lento. Además, se necesita un conjunto de composición aparte de gas para garantizar la correcta composición del refrigerante MCR. Otra desventaja es que el refrigerante es combustible, lo que puede ser un problema, especialmente en instalaciones en alta mar.

30 Si una tecnología de refrigeración de único componente que usa un gas inerte, tal como nitrógeno, pudiera ser eficiente energéticamente de forma comparable, esto representaría una mejora fundamental en términos de coste, compacidad, peso, robustez control y seguridad. Esta tecnología puede ser entonces interesante de implementar también en plantas a gran escala. El documento EP 1 939 564 A1 desvela tanto un procedimiento como un sistema de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 11, respectivamente. Las patentes de Estados Unidos 5.768.912 y 5.916.260 proponen procedimientos para la producción de GNL basándose en tecnología refrigerante de nitrógeno individual. El refrigerante se separa en al menos dos flujos diferentes que se enfrían y se expanden en al menos dos expansores diferentes. Cada uno de los flujos se expande a la presión de aspiración del tren de compresores, que es la presión más baja del refrigerante en la disposición, usando de este modo más energía de la necesaria.

40 La patente de Estados Unidos 6.412.302 describe un conjunto de licuefacción de GNL que usa dos ciclos de refrigeración de expansión independientes, uno con metano o una mezcla de hidrocarburos, y el otro con nitrógeno. Cada ciclo tiene un expansor que funciona a diferentes niveles de temperatura. Cada uno de los ciclos puede estar controlado por separado. El uso de dos refrigerantes diferentes requerirá dos sistemas de compensación de refrigerante. Además el uso de un refrigerante inflamable implica restricciones o equipo extra.

45 Se han concedido varias patentes para procedimientos de MCR y aparatos que usan gas del procedimiento como refrigerante, por ejemplo la patente de Estados Unidos 7.225.636 y la patente EP 1455152. Es común para éstas que la absorción de calor incluya cambio de fase de refrigerante, lo que da de forma inherente un sistema más complejo. Se necesita más equipo y el control se complica y sensible.

50 Existe una necesidad de procedimientos eficientes basados en un refrigerante de componente único inerte. La presente invención describe un conjunto de producción de GNL eficiente energéticamente y compacto, con un control flexible que usa un gas inerte como refrigerante.

Sumario de la invención

55 La presente invención se refiere a un procedimiento y un aparato para producción optimizada de GNL. Para minimizar el consumo específico de energía, se deben minimizar las pérdidas del intercambiador de calor. Esto se consigue disponiendo dos o tres expansores de componente único y uno o varios ciclos de refrigeración de fase

única, de modo que los flujos másicos, las temperaturas y los niveles de presión en los expansores puedan controlarse por separado. Mediante esta disposición, el procedimiento de refrigeración puede adaptarse a composiciones de gas variables a diferentes presiones y temperaturas, y al mismo tiempo optimizar la eficiencia. El control es inherentemente robusto y flexible. Una planta de producción de GNL de acuerdo con la presente invención puede adaptarse a diferentes fuentes de gas y, al mismo tiempo, mantener el bajo consumo específico de energía.

En un aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un sistema de acuerdo con la reivindicación 11.

Realizaciones favorables se especifican mediante las reivindicaciones dependientes.

Las presiones de salida de los expansores están controladas para ser lo más elevadas posible pero al mismo tiempo alimentando la disposición de intercambiador de calor para producción de GNL subenfriado con temperaturas de refrigerante requeridas. Las presiones de aspiración para cada una de las etapas del compresor se mantienen entonces lo más elevadas posible. Esto es a diferencia de la técnica anterior, véase por ejemplo la patente de Estados Unidos 5.916.260, en la que todas las corrientes se expanden hasta la presión del refrigerante más baja. Una mejora fundamental con la presente invención es que los volúmenes de trabajo y de aspiración específicos de los compresores se minimizan, mejorando de este modo la eficacia global del sistema. Las dimensiones de los oleoductos se reducen con, como consecuencia, válvulas y accionadores más pequeños. Todos estos factores contribuyen a una significativa reducción del coste y la necesidad de espacio. El trabajo de instalación también se volverá menos complicado y, por lo tanto, más eficiente.

Reducir las pérdidas del intercambiador de calor es de vital importancia en procesos a baja temperatura. Una realización importante de la presente invención es que reduce las diferencias de temperatura a un mínimo adaptando el procedimiento de refrigeración a, principalmente, las tres etapas diferentes de la producción de GNL: desrecalentamiento, condensación (enfriamiento de la fase densa a presiones supercríticas) y subenfriamiento. Esto es a diferencia de la tecnología de la técnica anterior, por ejemplo la patente de Estados Unidos 6.412.302, que no tiene adaptación independiente para desrecalentamiento y condensación/enfriamiento de la fase densa.

La presente invención funcionará con un único refrigerante en fase gaseosa. El nitrógeno es una alternativa obvia. La no inflamabilidad se considera una ventaja en, por ejemplo, instalaciones en alta mar. El uso de solamente un refrigerante de componente único también reduce la complejidad.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos ilustran realizaciones preferidas de la presente invención.

La figura 1 muestra las etapas principales de la producción de gas natural licuado con necesidades de capacidad de enfriamiento correspondientes representadas por tres líneas rectas.

La figura 2 ilustra un ejemplo de las curvas compuestas de caliente y frío de la presente invención.

La figura 3 representa una realización de la presente invención que incluye tres expansores.

La figura 4 muestra otra realización que incluye tres expansores dispuestos en tres ciclos de refrigeración diferentes.

La figura 5 ilustra una realización que incluye solamente dos expansores.

La figura 6 representa una realización como la figura 5 pero con expansores dispuestos en ciclos de refrigeración diferentes.

La figura 7 muestra una realización que permite separar y mezclar corrientes de refrigerante.

La figura 8 ilustra una sección de la figura 7 en la que al menos uno de los expansores ilustrado en las figuras 3 a 6 está dotado de expansores acoplados en serie.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a la producción de gas natural licuado, GNL. Dependiendo de la fuente de gas, la composición variará. Por ejemplo, una composición del gas puede incluir el 88 % de metano, el 9 % de hidrocarburos más pesados, el 2 % de dióxido de carbono, y el 1 % de agua, nitrógeno y otros gases traza. Antes de la licuefacción, es necesario reducir la concentración de dióxido de carbono, agua (que se congelará) y gases traza perjudiciales tales como H₂S, a niveles aceptables o eliminarlos de la corriente de gas. El gas de pozo experimentará una etapa de pretratamiento antes de entrar en la etapa de licuefacción. En las figuras 3 a 6, esta corriente de gas natural pretratado se indica con el número de referencia 9.

El procedimiento de producción de GNL puede dividirse principalmente en tres etapas diferentes. A) Desrecalentamiento, B) Condensación y C) Subenfriamiento, véase el esbozo esquemático en la figura 1. La presión crítica de metano es de aproximadamente 46 bares. Dependiendo de la composición de la fuente de gas natural, la presión crítica variará de 46 bares y hacia arriba. Por encima de la presión crítica para una composición de gas natural, la condensación no es posible. Sin embargo, en lugar de condensación, el gas pasara una etapa con capacidad calorífica específica incrementada.

Cada una de las etapas requiere diferente capacidad de enfriamiento específica. A fin de reducir las pérdidas del intercambiador de calor, las diferencias de temperatura entre flujos calientes y flujos fríos en todo el procedimiento de producción de GNL tienen que minimizarse. Utilizando una multitud de expansores, donde cada uno de ellos puede estar controlado por separado con flujo másico, niveles de presión y temperaturas, es posible conseguir una adaptación de temperatura cercana entre capacidad de refrigeración y el enfriamiento necesario. Las capacidades de enfriamiento para las tres etapas se representan en la figura 1 mediante tres líneas rectas. Expansores controlados de forma independiente proporcionan la principal contribución a la capacidad de enfriamiento en cada etapa. El número óptimo de expansores dependerá de la composición de la fuente de gas, la presión del gas, las temperaturas requeridas y la capacidad de la planta de GNL.

La figura 3 muestra una configuración de acuerdo con la presente invención. Tres expansores 1, 2, 3, por ejemplo turboexpansores, suministras a una caja fría 8 con flujos de gas expandidos a diferentes temperaturas adaptadas al procedimiento de licuefacción del flujo de gas natural 9. Un tren de compresores 5, 6, 7 sirve a los tres expansores. El expansor 3 suministra a la caja fría 8 con un flujo 60 adaptado para realizar un subenfriamiento eficiente del flujo de gas natural 9, por ejemplo con un intervalo de temperatura de -85 °C hasta -160 °C, véase la figura 1. Por encima de -85 °C, el flujo 60 contribuye con capacidad de refrigeración neta limitada en la caja fría 8, dado que un flujo másico 59 y un flujo másico 61 suministrado y devuelto por el expansor 3, respectivamente, son iguales. El expansor 2 suministra a la caja fría 8 con un flujo 56 adaptado para realizar la condensación o en enfriamiento de gas a capacidad calorífica elevada, véase la figura 1. Este procedimiento puede tener un intervalo de temperatura entre -85 °C y -25 °C. Análogo al expansor 3, el flujo másico 55 y el flujo másico 57 suministrado y devuelto por el expansor 2, respectivamente, tendrán contribución limitada a la capacidad de enfriamiento por encima de -25 °C. El expansor 1 sirve a la caja fría 8 con un flujo 52 adaptado para realizar el desrecalentamiento a partir de una temperatura de entrada del flujo de gas natural 9, hasta la temperatura de trabajo superior del expansor 2, es decir -25 °C. Los flujos másicos suministrados y devueltos se representan mediante los números de referencia 51, 53.

Los compresores 5, 6, 7 están montados en serie formando un tren de compresores. El tren de compresores puede consistir en diversos números de etapas y uno o más compresores en paralelo en cada etapa. Las relaciones de presión en cada etapa están optimizadas para los requisitos de temperatura en la caja fría 8. Estas relaciones de presión y flujos másicos pueden modificarse y controlarse durante el funcionamiento mediante el control de velocidad de los compresores. Las capacidades y los intervalos de temperatura pueden ajustarse a continuación.

Modificando el inventario total en la disposición, los niveles de presión globales pueden modificarse y la capacidad global controlarse. Un conjunto de compensación de inventario está conectado al lado de aspiración de la etapa del compresor de baja presión, y al lado de descarga del compresor de alta presión. Las válvulas 32 y 34 se usan para el control de la transmisión de refrigerante al tanque de compensación 25.

El calor es disipado al ambiente por intercambiadores de calor 10, 11,12.

La figura 3 también muestra un ejemplo de cómo los diferentes expansores 1, 2, 3 están conectados al tren de compresores 5, 6, 7. El expansor 3 es alimentado por flujo de gas de salida 58, procedente de un intercambiador de calor 11 de disipación de calor, mientras que los otros dos expansores 1, 2 son alimentados por flujo de gas de salida 50, 54, procedente del intercambiador de calor 10 de disipación de calor. Generalmente, las presiones de entrada y de salida del expansor pueden adaptarse a cada expansor aplicando la presente invención.

La realización de acuerdo con la figura 3 ilustra que la caja fría 8 es servida por tres bucles de expansión diferentes. Debido a, por ejemplo, requisitos mecánicos para el conjunto de caja fría 8, puede ser ventajoso separar y mezclar flujos de refrigerante en conexión con el conjunto de caja fría 8. La figura 7 muestra un ejemplo para la separación y mezcla de flujos de refrigerante. El flujo caliente 50 se separa en el flujo 51 y el flujo 55 aguas arriba de los expansores. Los flujos fríos 52 y 56 se mezclan aguas abajo de los expansores en el flujo 54. Separando los flujos calientes aguas arriba de los expansores, y mezclando los flujos fríos aguas abajo de los expansores, puede conseguirse un procedimiento eficiente. Sin embargo, esta configuración tiene la desventaja inherente de que la adaptación individual de la presión de entrada y de salida para cada expansor no es posible. El potencial para eficiencia energética optimizada se reduce.

Aplicando esta realización, todos los compresores y expansores están integrados en la misma disposición de refrigeración. Esto proporciona el potencial de fabricar una solución muy compacta para el equipo rotatorio, reduciendo de este modo el coste. Además, cada una de las etapas 5, 6, 7 del compresor aspira a partir de tres presiones de aspiración diferentes, que están formadas por los expansores 1, 2, 3. Mediante aspiración a partir de las presiones lo más elevadas posible, es decir flujos másicos 61, 57, 53, el trabajo del compresor se minimiza, mejorando la eficiencia global.

Los volúmenes de aspiración de los compresores también se minimizan. Las dimensiones del oleoducto se reducen con, como consecuencia, válvulas y accionadores más pequeños. La necesidad de espacio se reducirá considerablemente y el coste será menor. El trabajo de instalación también se volverá menos complicado y más eficiente.

5 Una mejora fundamental para la eficiencia energética es el uso de tres circuitos de expansión diferentes adaptados a las tres etapas diferentes de la licuefacción de gas natural. Esto es a diferencia de la tecnología de la técnica anterior, por ejemplo en la patente US 6.412.302, que no tiene adaptación separada para desrecalentamiento y condensación/enfriamiento de la fase densa. El resultado termodinámico del sistema descrito puede verse en la figura 3. Adaptando los flujos másicos, las relaciones de presión y las temperaturas de cada expansor 1, 2 y 3, las pérdidas del intercambiador de calor indicadas por la distancia entre las curvas compuestas de frío y caliente, pueden reducirse a un mínimo.

10 La presente disposición de refrigeración funcionará con el refrigerante en fase gaseosa. El nitrógeno es un gas obvio para aplicar, dado que tiene propiedades favorables y es un refrigerante probado. El peso molar es mayor que para el metano. Un peso molecular elevado es ventajoso cuando se usa en maquinaria de turbocompresor. Se proponen metano o mezclas de hidrocarburos usadas en la patente de Estados Unidos 6.412.302. Los hidrocarburos también son inflamables, lo que se considera una desventaja en algunas aplicaciones, por ejemplo en instalaciones en alta mar.

15 La figura 4 muestra una segunda realización en la que cada uno de los expansores 1, 2, 3 es accionado en ciclos diferentes con su propia configuración del compresor. Los expansores 1, 2, 3 son suministrados a partir del compresor 13, los compresores 14, 15 y los compresores 16, 17, 18, respectivamente. El número de compresores o etapas del compresor puede variar en cada ciclo. Tal como se ilustra en la figura 3, cada uno de los expansores 1, 2, 3 suministrará a la caja fría 8 con capacidad de refrigeración adaptada a las diferentes zonas de temperatura.

20 Ciclos diferentes proporcionan flexibilidad mejorada con respecto al control de la presión, la temperatura y el flujo másico, es decir la capacidad de refrigeración en las diferentes etapas del procedimiento de licuefacción de gas natural. Cada ciclo puede controlarse por separado con control del inventario y control de la velocidad del compresor. Un ejemplo de un conjunto de control del inventario se muestra en la figura 4. Los tres ciclos diferentes están conectados a un recipiente de compensación del inventario 25, que se mantiene a una presión menor que la presión alta más baja en los ciclos, y mayor que la presión baja más elevada en los ciclos. Las válvulas 26 a 31 se usarán para transferir masa entre los ciclos y el recipiente 25. Incluso aunque los ciclos funcionen por separado, están conectados y dependen unos de otros cuando se controla la disposición. El control del inventario independiente proporciona la posibilidad de modificar los niveles de presión globales en cada ciclo.

25 La filosofía de control flexible hace al sistema con ciclos diferentes robusto y adaptable a variaciones de los flujos y composiciones de la fuente de gas, y situaciones iniciales. Una posible desventaja puede ser la necesidad de más compresores, Sin embargo, el volumen de aspiración total no se incrementará principalmente en comparación con el sistema mostrado en la figura 3.

30 El uso de tres expansores en el procedimiento de producción de GNL es básicamente ventajoso, tal como se ilustra en la figura 1. Sin embargo, pueden conseguirse eficiencias aún mayores con el uso de cuatro expansores o más, no mostrados. La razón es una adaptación aún mejor entre la curva compuesta de caliente y frío. Una mayor complejidad puede aceptarse probablemente en plantas a gran escala donde la eficiencia energética es decisiva.

35 Las figuras 5 y 6 muestran realizaciones para la producción de GNL basándose en los mismos principios que los ilustrados por las figuras 3 y 4, pero con dos expansores en lugar de tres. La figura 5 representa un ejemplo que tiene un tren de compresores común, y la figura 6 muestra un ejemplo que comprende ciclos diferentes. En ambos de los casos ilustrados, el expansor 3 está adaptado para subenfriar el gas natural licuado, mientras que el expansor 2 está adaptado para el desrecalentamiento y la condensación/enfriamiento del gas denso. El expansor 2 se usa, por lo tanto, para producción de gas natural licuado, mientras que el expansor 3 se usa para subenfriamiento. La adaptación entre las curvas compuestas de caliente y frío será peor en comparación con las soluciones que tienen tres expansores, pero la configuración es menos compleja. El volumen de aspiración del compresor total no disminuirá en comparación con la realización que tiene tres expansores, dado que la capacidad de aspiración de los compresores 6, 5 o 14, 15 debe incrementarse para manejar tanto desrecalentamiento como condensación/enfriamiento del gas denso.

40 En cuanto a los sistemas con tres expansores descritos, el control de la capacidad puede realizarse mediante control del inventario y control de la velocidad del compresor. Para los ciclos diferentes, véase la figura 6, los niveles de presión pueden controlarse de forma independiente para los dos ciclos. El control del inventario se lleva a cabo mediante un sistema de compensación de masa de refrigerante que incluye un recipiente 25 y las válvulas 28, 29, 30 y 31. La presión en el recipiente 25 se mantiene más baja que la presión elevada más baja y más elevada que la presión baja más elevada en el sistema. Las válvulas se usan para transferencia de masa a y desde el recipiente. Para el sistema conectado en la figura 5, el control del inventario está dispuesto mediante un recipiente 25 y las válvulas 32 y 34. Modificando el inventario del procedimiento, los niveles de presión globales pueden cambiarse y la capacidad controlarse. Puede usarse variación de la velocidad del compresor para modificar la capacidad global,

pero también para control independiente de cada etapa del compresor, proporcionando la oportunidad de modificar la capacidad a diferentes niveles de presión.

El expansor 2 en la figura 5 y 6 proporciona la capacidad de enfriamiento en el ciclo de temperatura elevada. Esta capacidad de enfriamiento puede estar, por ejemplo, proporcionada por dos expansores en serie, véase la figura 8.

- 5 El flujo másico 55 se expandirá en primer lugar en el expansor 2a hasta una presión intermedia y se subenfriará en la caja fría 8, antes de una expansión final a través de un segundo expansor 2b hasta la presión baja del ciclo de temperatura elevada. La complejidad se incrementará ligeramente, pero mejorará la eficiencia energética. En principio, cualquiera de los expansores 1, 2 y 3, puede sustituirse por dos o más expansores en serie.

- 10 Todas las soluciones propuestas anteriormente no están limitadas a la producción de gas natural licuado. La relicuefacción de gas de ebullición, que también se considera un natural gas, es otra aplicación en la que la presente invención puede usarse, por ejemplo en transportadores de GNL marinos y en terminales en tierra.

Ejemplo:

- 15 Aplicando la presente invención, por ejemplo tal como se muestra en la figura 3 a una fuente de gas natural típica, pueden conseguirse eficiencias energéticas calculadas de aproximadamente 0,32 kWh/kg de GNL, dependiendo de las condiciones externas. En comparación con soluciones de la técnica anterior, por ejemplo de acuerdo con la patente de Estados Unidos 6.412.302 que tiene una eficiencia energética calculada de 0,44 kWh/kg de GNL en condiciones ambiente iguales y basándose en datos operativos sugeridos en esta descripción, esto es una mejora significativa.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de producción de gas natural licuado y subenfriado por medio de un conjunto de refrigeración usando un refrigerante gaseoso de fase única, que comprende:

5 dos o tres expansores (1-3; 2-3);
 un conjunto compresor (5-7; 13-18; 5-7; 14-18);
 un conjunto intercambiador de calor (8) para absorción de calor a partir del gas natural; y
 un conjunto de disipación de calor (10-12; 19-24; 10-12; 20-24), **caracterizado por:**

10 disponer los expansores (1-3; 2-3) en dos o tres bucles de expansión, estando cada uno de los expansores controlado de forma independiente;
 usar solamente un mismo refrigerante en todos los bucles;
 hacer pasar un flujo de refrigerante expandido desde el expansor (1-3; 2-3) respectivo al interior del conjunto intercambiador de calor (8), en el que

- en el caso de dos expansores:

15 el flujo de refrigerante procedente del primer expansor está a un nivel de flujo másico y temperatura adaptado para el desrecalentamiento, la condensación y el enfriamiento de la fase densa del gas natural, y el refrigerante procedente del segundo expansor está a un nivel de flujo másico y temperatura adaptado para el subenfriamiento del natural gas;

- en el caso de tres expansores:

20 el flujo de refrigerante procedente del primer expansor está a un nivel de flujo másico y temperatura adaptado para el desrecalentamiento del natural gas, el flujo de refrigerante procedente del segundo expansor está a un nivel de flujo másico y temperatura adaptado para la condensación y el enfriamiento de la fase densa del gas natural, y el refrigerante procedente del tercer expansor está a un nivel de flujo másico y temperatura adaptado para el subenfriamiento del gas natural;
 25 y proporcionar el refrigerante al expansor (1-3; 2-3) respectivo en un flujo comprimido por medio del conjunto compresor (5-7; 13- 18; 5-7; 14-18) que tiene compresores o etapas del compresor que permiten presiones de entrada y de salida adaptadas para el expansor respectivo.

30 2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se conectan los expansores (1-3; 2-3) al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con bucles de expansión (52, 51, 56, 55, 60, 59; 56, 55, 60, 59) diferentes.

35 3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se conectan los expansores (1-3; 2-3) al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con mezcla de corrientes frías en los bucles de expansión (52, 56) en conexión con el conjunto intercambiador de calor (8).

4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se conectan los expansores (1-3; 2-3) al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con separación de corrientes calientes en los bucles de expansión (51, 56) en conexión con el conjunto intercambiador de calor (8) aguas arriba de los expansores (1-3; 2-3).

40 5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se conectan los expansores (1-3; 2-3) al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con separación de corrientes calientes (51, 55) aguas arriba de los expansores (1-3; 2-3) y mezcla de corrientes frías (52, 56) en conexión con el conjunto intercambiador de calor (8).

45 6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se conecta cada expansor (1-3; 2-3) al conjunto compresor (13- 18; 14-18) para formar en comunicación de fluido ciclos de refrigeración diferentes.

7. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, la reivindicación 2 y la reivindicación 3, **caracterizado porque** se controlan las capacidades de refrigeración modificando un inventario de refrigerante.

8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 y la reivindicación 4, **caracterizado porque** se modifican de forma independiente las capacidades de refrigeración en cada ciclo mediante control de inventario diferente.

50 9. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, **caracterizado porque** se controlan las capacidades de refrigeración mediante control de la velocidad del compresor.

10. Un procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, **caracterizado porque** se sustituye cualquiera de los expansores por dos o más expansores conectados en serie con enfriamiento intermedio entre las

etapas de expansor.

11. Un sistema de producción de gas natural licuado y subenfriado por medio de un conjunto de refrigeración usando un refrigerante gaseoso de fase única, que comprende:

- 5 dos o tres expansores (1-3; 2-3);
 un conjunto compresor (5-7; 13-18; 5-7; 14-18);
 un conjunto intercambiador de calor (8) para absorción de calor a partir de gas natural; y
 un conjunto de disipación de calor (10-12; 19-24; 10-12; 20-24), **caracterizado porque:**

10 los expansores (1-3; 2-3) están dispuestos en dos o tres bucles de expansión, estando cada uno de los expansores controlado de forma independiente;
 comprendiendo todos los bucles de expansión el mismo refrigerante;
 un flujo de refrigerante expandido procedente de un expansor (1-3; 2-3) respectivo se hace pasar al interior del conjunto intercambiador de calor (8), en el que el conjunto intercambiador de calor (8) comprende trayectorias individuales para desrecalentamiento, condensación y enfriamiento de la fase densa y subenfriamiento, estando cada trayectoria a un nivel de flujo másico y temperatura adaptado para dichos desrecalentamiento, condensación o enfriamiento de la fase densa y subenfriamiento de gas natural; y
 15 el refrigerante se proporciona al expansor (1-3; 2-3) respectivo en un flujo comprimido por medio del conjunto compresor (5-7; 13-18; 5-7; 14-18) que tiene compresores o etapas de compresor que permiten presiones de entrada y de salida adaptadas para el expansor respectivo.

20 12. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** los expansores (1-3; 2-3) están conectados al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con bucles de expansión (52, 51, 56, 55, 60, 59; 56, 55, 60, 59) diferentes.

25 13. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** los expansores (1-3; 2-3) están conectados al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con mezcla de corrientes frías en los bucles de expansión (52, 56) en conexión con el conjunto intercambiador de calor (8).

14. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** los expansores (1-3; 2-3) están conectados al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con separación de corrientes calientes en los bucles de expansión (51, 56) en conexión con el conjunto intercambiador de calor (8) aguas arriba de los expansores (1-3; 2-3).

30 15. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** los expansores (1-3; 2-3) están conectados al conjunto compresor (5-7) para formar en comunicación de fluido un conjunto de refrigeración integrado con separación de corrientes calientes (51, 55) aguas arriba de los expansores (1-3; 2-3) y mezcla de corrientes frías (52, 56) en conexión con el conjunto intercambiador de calor (8).

35 16. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** cada expansor (1-3; 2-3) está conectado al conjunto compresor (13-18; 14-18) para formar en comunicación de fluido ciclos de refrigeración diferentes.

17. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11, la reivindicación 12 y la reivindicación 13, **caracterizado porque** se controlan capacidades de refrigeración modificando un inventario de refrigerante.

18. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 11 y la reivindicación 12, **caracterizado porque** las capacidades de refrigeración se modifican de forma independiente en cada ciclo mediante control de inventario diferente.

40 19. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las capacidades de refrigeración se controlan mediante el control de la velocidad del compresor.

20. Un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cualquiera de los expansores se sustituye por dos o más expansores conectados en serie con enfriamiento intermedio entre etapas de expansor.

45

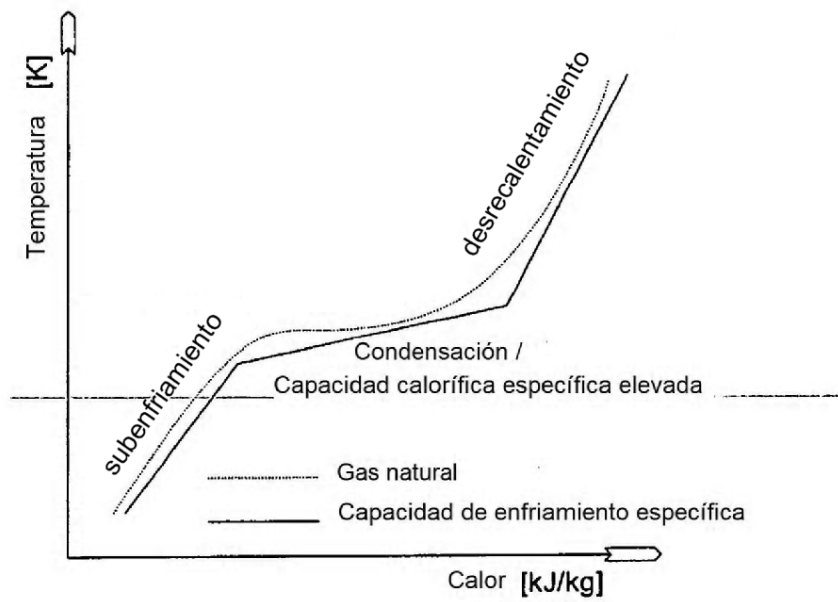


Fig 1

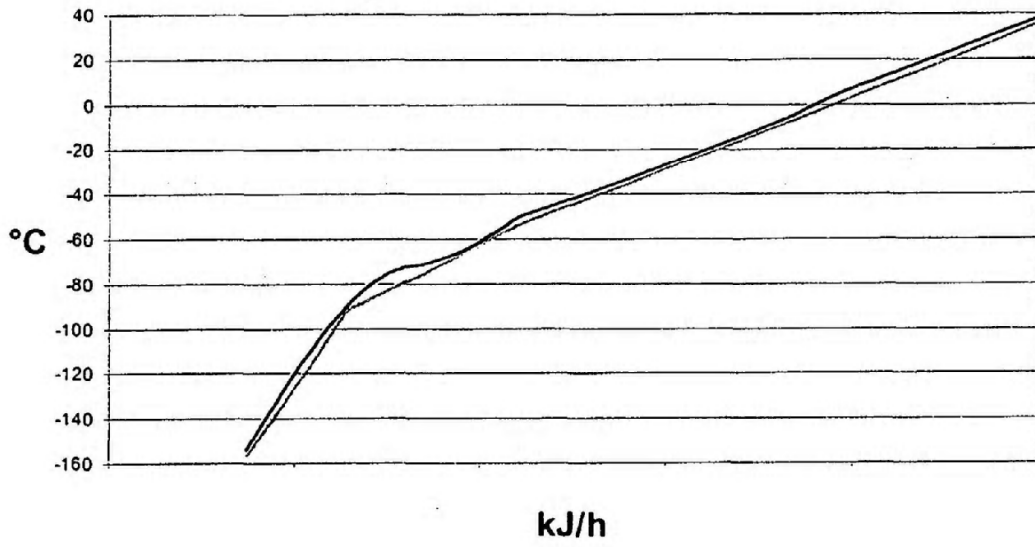


Fig. 2

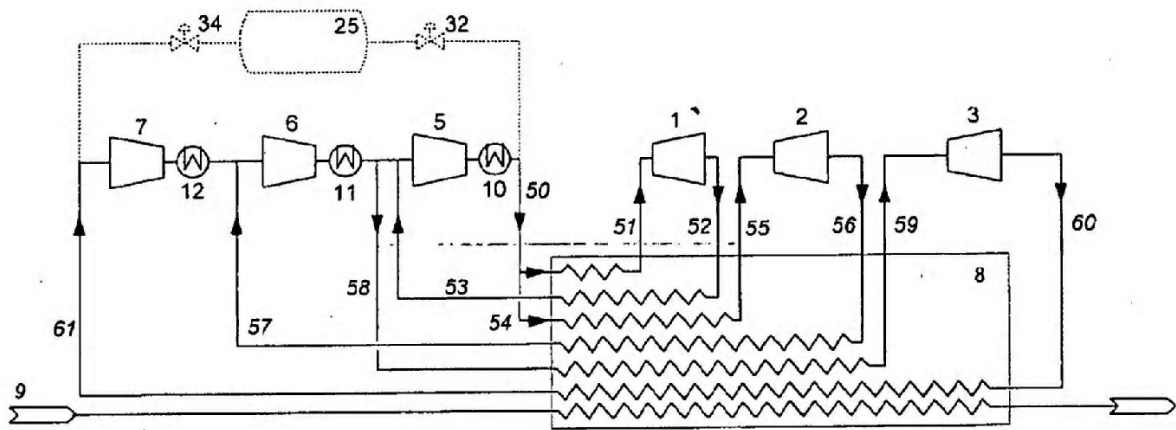


Fig. 3

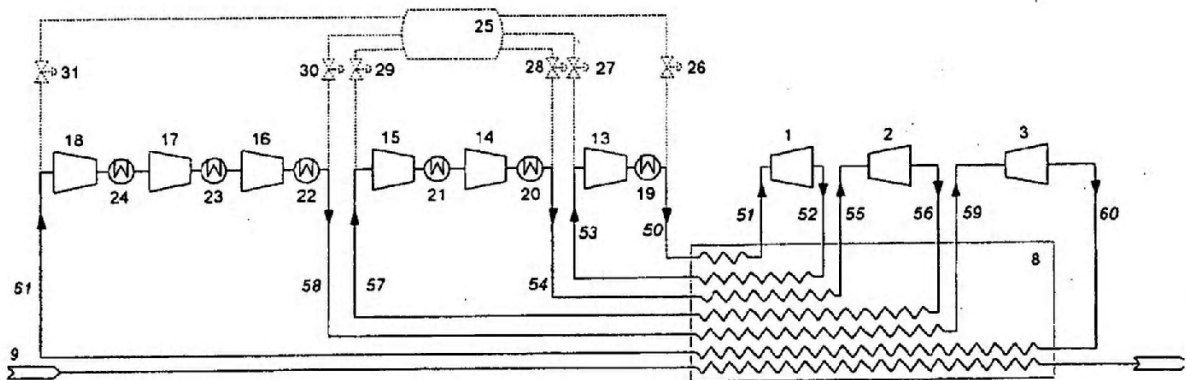


Fig. 4

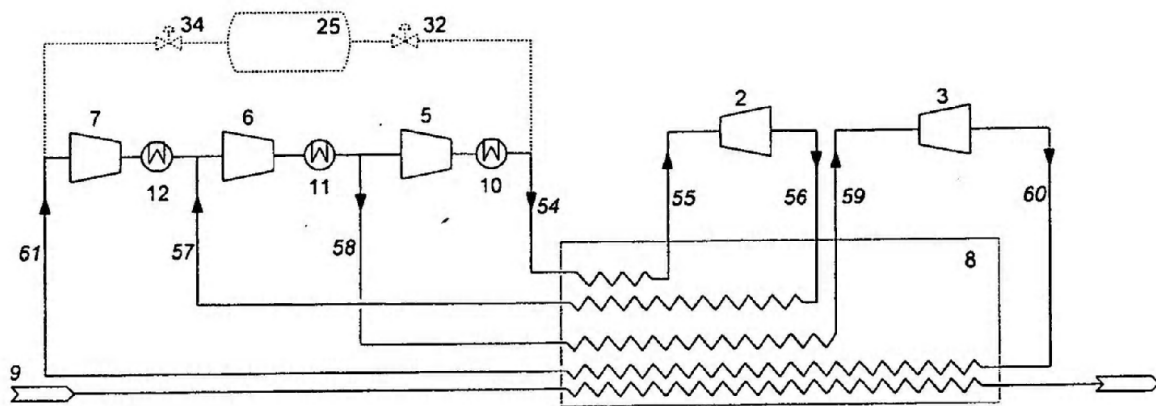


Fig. 5

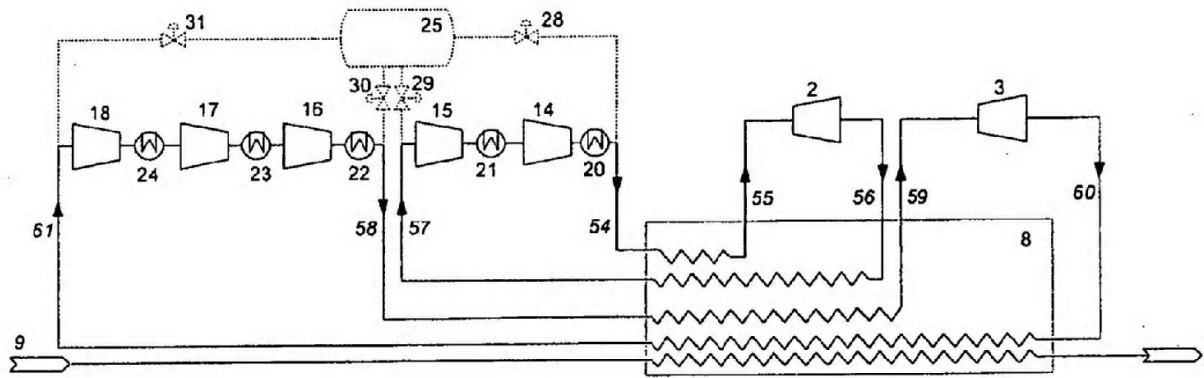


Fig. 6

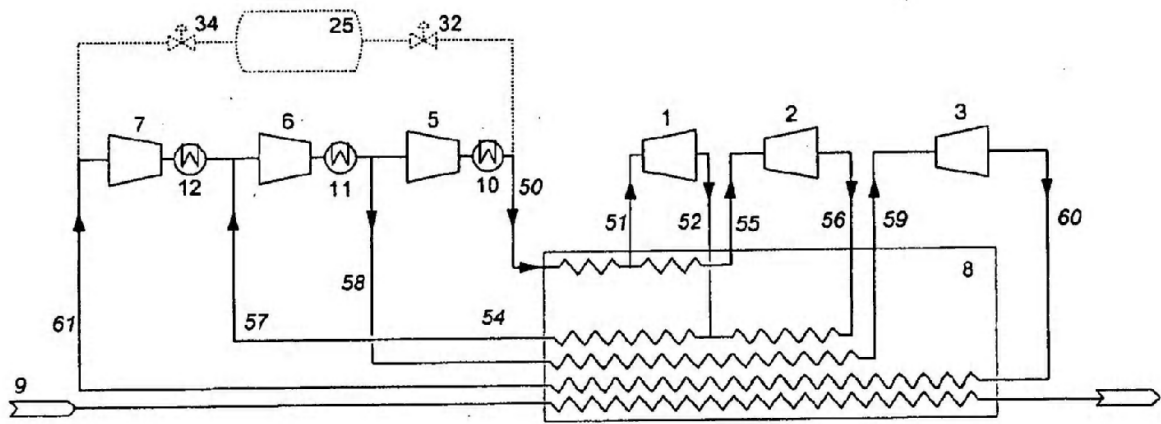


Fig. 7

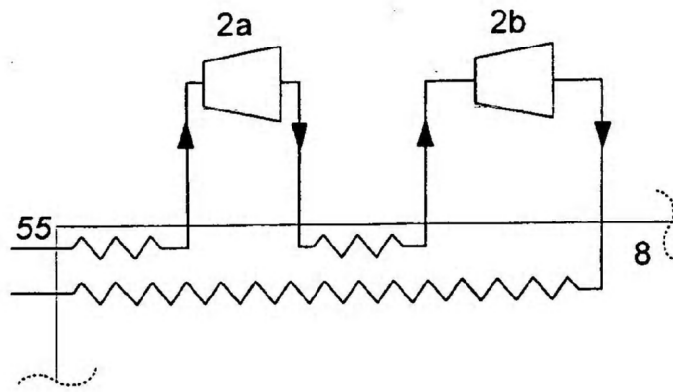


Fig. 8