

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 362**

51 Int. Cl.:

F25J 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.08.2005 PCT/US2005/027982**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.02.0006 WO06017783**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.08.2005 E 05784690 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 1792130**

54 Título: **Procedimiento de licuefacción de gas natural**

30 Prioridad:

06.08.2004 US 599753 P

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

21.08.2017

73 Titular/es:

**BP CORPORATION NORTH AMERICA INC
(100.0%)
501 Westlake Park Boulevard
Houston, TX 77079, US**

72 Inventor/es:

**OWEN, RYAN;
JONES, RICHARD, JR. y
SAWCHUK, JEFFREY, H.**

74 Agente/Representante:

SALVA FERRER, Joan

ES 2 630 362 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 de licuefacción de gas natural

5 **Campo técnico de la invención**

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento para licuar flujos de gas ricos en metano, tales como gas natural, y a la producción más eficaz de dichos flujos licuados.

10 **Antecedentes de la invención**

[0002] El gas natural en general se refiere a hidrocarburos enrarecidos o gaseosos (compuestos de metano e hidrocarburos ligeros como etano, propano, butano y similares) que se encuentran en la tierra. Los gases no combustibles que se producen en la tierra, como el dióxido de carbono, el helio y el nitrógeno, se conocen en general por sus nombres químicos propios. A menudo, sin embargo, se encuentran gases no combustibles en combinación con gases combustibles y la mezcla se denomina, en general, "gas natural" sin intentar distinguir entre gases combustibles y gases no combustibles. Véase Pruitt, "Mineral Terms-Some Problems in Their Use and Definition", Rocky Mt. Min. L. Rev. 1, 16 (1966).

20 **[0003]** El gas natural suele ser abundante en regiones donde no es económico desarrollar esas reservas debido a la falta de un mercado local para el gas o al alto coste de procesar y transportar el gas a mercados lejanos.

[0004] Es una práctica común licuar criogénicamente gas natural para producir un producto de gas natural licuado ("GNL") para un almacenamiento y transporte más cómodo. Una razón fundamental para la licuefacción del gas natural es que la licuefacción da como resultado una reducción de volumen de aproximadamente 1/600, permitiendo de este modo almacenar y transportar el gas licuado en contenedores a baja presión o incluso a presión atmosférica. La licuefacción del gas natural es aún más importante ya que permite el transporte de gas de una fuente de suministro al mercado, donde la fuente y el mercado están separados por grandes distancias y el transporte por tubería no es práctico ni económicamente viable. En algunos casos, el procedimiento de transporte es en buques oceánicos. No es económico transportar materiales gaseosos en barco a menos que los materiales gaseosos estén altamente comprimidos. Incluso entonces el transporte no sería económico debido a la necesidad de proporcionar contenedores de resistencia y capacidad adecuadas.

[0005] Con el fin de almacenar y transportar gas natural en estado líquido, el gas natural se enfría normalmente a -240 °F (-151 °C) hasta -260 °F (-162 °C) donde puede existir como un líquido cerca de la presión atmosférica. Muchas plantas de licuefacción de GNL utilizan un ciclo de refrigeración mecánica para el enfriamiento del flujo de gas de entrada, tal como los tipos de refrigerantes en cascada o mixtos, como en general se describe en la patente de EE.UU. nº 3.548.606. Existen varios otros procedimientos y/o sistemas para licuar gas natural por lo que el gas se licúa pasando secuencialmente el gas a una presión elevada a través de una pluralidad de etapas de enfriamiento y enfriando el gas a temperaturas sucesivamente más bajas hasta que se logra la licuefacción. El enfriamiento se consigue en general por intercambio de calor con uno o más refrigerantes tales como propano, propileno, etano, etileno, nitrógeno y metano, o mezclas de los mismos, en una configuración de bucle cerrado o bucle abierto. Los refrigerantes pueden ser dispuestos en cascada, en orden de disminución del punto de ebullición del refrigerante. Por ejemplo, los procedimientos para la preparación de GNL en general se describen en las patentes de EE.UU. 4.445.917; 5.537.827; 6.023.942; 6.041.619; 6.062.041; 6.248.794, y la solicitud de patente del Reino Unido GB 2.357.140 A.

[0006] Adicionalmente, el gas natural licuado se puede expandir a presión atmosférica haciendo pasar el gas licuado a través de una o más etapas de expansión. Durante el curso de la expansión, el gas se enfría adicionalmente a una temperatura de almacenamiento o transporte adecuada y se reduce la presión hasta aproximadamente la presión atmosférica. En esta expansión a presión atmosférica, puede haber destellos de volúmenes significativos de gas natural. Los destellos emanados pueden recogerse de las etapas de expansión y reciclarse o quemarse para generar energía para la planta de producción de gas natural líquido.

55 **[0007]** Las plantas con un tipo ciclo de refrigeración en cascada son normalmente relativamente caras de construir y operar, y las plantas con un tipo de ciclo de refrigerante mixto también pueden requerir una estrecha atención de las composiciones del flujo durante el funcionamiento. El equipo de refrigeración es particularmente caro debido a los requisitos metalúrgicos de baja temperatura de los componentes. Sin embargo, la licuefacción del gas natural es una tecnología cada vez más importante y ampliamente practicada para convertir el gas en una forma que

puede ser transportada y almacenada fácilmente y económicamente. Los costes y la energía gastada para licuar el gas se deben minimizar para producir un medio rentable de producción y transporte del gas desde el campo de gas al usuario final. La tecnología del procedimiento que reduce el coste de la licuefacción a su vez reduce el coste del producto de gas para el usuario final.

5

[0008] Los ciclos del procedimiento para la licuefacción del gas natural históricamente han utilizado válvulas de expansión isentrópicas, o válvulas Joule Thomson (JT), para producir la refrigeración necesaria para licuar el gas. Los ciclos de procedimientos típicos que utilizan válvulas de expansión para este propósito se describen por ejemplo en las patentes de EE.UU. nº 3.763.658, 4.404.008, 4.445.916, 4.445.917 y 4.504.296.

10

[0009] El trabajo de expansión que se produce cuando los fluidos del procedimiento fluyen a través de dichas válvulas se pierde esencialmente. Con el fin de recuperar al menos una parte del trabajo producido por la expansión de estos fluidos del procedimiento, pueden utilizarse máquinas de expansión tales como expansores alternativos o turboexpansores. Por ejemplo, las patentes de Estados Unidos 4.970.867 y 5.755.114 describen el uso de turboexpansores en relación con la producción de GNL.

15

[0010] La patente US 3.348.384 describe un procedimiento para la licuefacción parcial de una mezcla de componentes gaseosos, preferentemente gas natural que contiene nitrógeno, cuyo procedimiento comprende enfriar un flujo de alimentación presurizado a temperatura subambiente mediante intercambio de calor indirecto con un refrigerante separado antes de expandir el flujo de alimentación en una máquina de expansión y el trabajo obtenido de este modo se utiliza preferentemente para accionar los compresores necesarios en el procedimiento. El flujo de alimentación expandido posteriormente se hace destellar para producir una parte líquida más rica en componente con punto de ebullición más alto y una parte de gas más pobre en componente con punto de ebullición más alto.

20

[0011] El término "expansor" o "dispositivo de expansión/compresión", tal como se usa en este documento, se refiere en general a dichos turboexpansores o expansores alternativos. En el campo de la licuefacción de gas natural, el término "expansor" se usa habitualmente para designar un turboexpansor y se utiliza de esta manera en la presente descripción.

25

[0012] En esta solicitud se utiliza la unidad de presión barg que se va a convertir en bar absoluto de la siguiente manera: bar absoluto = barg + 1 bar.

30

[0013] Los solicitantes no conocen ningún intento previo de utilizar el exceso de presión de un flujo de alimentación de gas rico en metano, tal como un flujo de gas natural, como una fuente de refrigeración para un procedimiento de GNL, tal como para proporcionar compresión en un ciclo de refrigeración usado para preenfriar el gas natural antes de dirigirlo a una zona de licuefacción o compresión en uno o más ciclos de refrigeración utilizados para licuar el gas natural en la zona de licuefacción. Aunque la mayoría de los procedimientos de licuefacción utilizan una alimentación rica en metano que normalmente se suministra a una presión de 650 psig (44,8 barg) a 1000 psig (69,0 barg), hay muchos casos en los que el gas natural suministrado puede estar disponible a presiones más altas, desde aproximadamente 1000 psig (69,0 barg) y hasta 2500 psig (172,4 barg) o más. Este gas puede producirse a dichas presiones desde una formación geológica subterránea; o puede ser comprimido a dicha presión después de que se produzca por cualquier número de razones asociadas con los requisitos del campo de producción; o puede ser comprimido debido a los requerimientos de tuberías locales o sistemas de transmisión de gas adyacentes al campo de producción. El uso de dicha etapa preliminar antes de la licuefacción podría dar como resultado una planta de licuefacción que es menos costosa de construir y/u operar, y/o permitir una mayor cantidad de producción de GNL para un diseño de planta dado. Como alternativa, el exceso de presión puede convertirse en trabajo mecánico que puede utilizarse para generar energía eléctrica, lo cual también podría producir un procedimiento más eficaz.

35

40

45

[0014] Como puede verse, sería deseable utilizar el exceso de energía residente dentro de dichos flujos de gas disponibles de una manera que dé como resultado un procedimiento de licuefacción de GNL más eficaz y/o potencialmente menos costoso.

50

Resumen de la invención

[0015] Los objetivos y ventajas anteriores pueden alcanzarse de acuerdo con la invención, lo que en un aspecto se refiere a un procedimiento para licuar un flujo de gas natural presurizado. El procedimiento comprende las etapas de:

55

(a) proporcionar el flujo de gas natural presurizado a una primera presión y una primera temperatura;

(b) enfriar el flujo de gas natural presurizado por intercambio de calor indirecto con un flujo de refrigerante frío para producir un flujo de gas natural presurizado y enfriado a una segunda temperatura más fría que la primera temperatura;

5

(c) expandir el flujo de gas natural presurizado y enfriado en un dispositivo de expansión, en el que el trabajo de expansión desde el dispositivo de expansión se utiliza para accionar un compresor que comprime un flujo de refrigerante para producir un flujo de refrigerante presurizado, la expansión dando como resultado un flujo de alimentación helada que es dirigido a una zona de licuefacción de gas natural;

10

(d) enfriar el flujo de refrigerante presurizado para producir un flujo de refrigerante presurizado, enfriado, y al menos parcialmente condensado;

(e) expandir el flujo de refrigerante presurizado, enfriado, y al menos parcialmente condensado, para producir el flujo de refrigerante frío empleado en (b); y

15

(f) licuar el flujo de alimentación helada en la zona de licuefacción de gas natural.

[0016] En realizaciones, la invención se refiere a un procedimiento para licuar un flujo de gas natural presurizado que comprende las etapas de:

20

(a) proporcionar el flujo de gas natural presurizado a una primera presión y una primera temperatura;

(b) enfriar el flujo de gas natural presurizado por intercambio de calor indirecto con un flujo de refrigerante frío para producir un flujo de gas natural presurizado y enfriado a una segunda temperatura más fría que la primera temperatura;

25

(c) expandir el flujo de gas natural presurizado y enfriado en un dispositivo de expansión para producir un flujo de alimentación enfriada, en el que el trabajo de expansión desde el dispositivo de expansión se utiliza para proporcionar refrigeración para producir el flujo de refrigerante frío; y

30

(d) licuar el flujo de alimentación helada en una zona de licuefacción.

[0017] En otros aspectos, la invención se refiere a un procedimiento para preparar un flujo de alimentación de gas natural helado que comprende:

35

(a) proporcionar un flujo de gas natural presurizado a una primera presión y una primera temperatura;

(b) enfriar el flujo de gas natural presurizado por intercambio de calor indirecto con un flujo de refrigerante frío para producir un flujo de gas natural presurizado y enfriado a una segunda temperatura más fría que la primera temperatura; y

40

(c) expandir el flujo de gas natural presurizado y enfriado en un dispositivo de expansión para producir el flujo de alimentación helada, en el que se utiliza el trabajo de expansión desde el dispositivo de expansión para producir el flujo de refrigerante frío.

45

[0018] En otro aspecto, la invención se refiere a un procedimiento para licuar un flujo de gas natural presurizado que comprende:

(a) proporcionar el flujo de gas natural presurizado a una primera presión y una primera temperatura;

50

(b) expandir el flujo de gas natural presurizado en un dispositivo de expansión para producir un flujo de alimentación helada, en el que el trabajo de expansión desde el dispositivo de expansión se utiliza para proporcionar refrigeración para la producción de GNL; y

55

(c) licuar el flujo de alimentación helada en una zona de licuefacción.

[0019] En otro aspecto, la invención se refiere a un procedimiento para licuar un flujo de gas natural presurizado. El procedimiento comprende las etapas de:

(a) proporcionar el flujo de gas natural presurizado a una primera presión y una primera temperatura;

(b) expandir el flujo de gas natural presurizado en un dispositivo de expansión para producir un flujo de alimentación helada y un trabajo de expansión; y

(c) licuar el flujo de alimentación helada en una zona de licuefacción.

Breve descripción de los dibujos

10

[0020] La Figura 1 es un diagrama de flujo de un procedimiento simplificado de una realización de la invención, en el que el exceso de presión de un flujo de gas natural presurizado se expande en un dispositivo expansor/ compresor para producir trabajo mecánico que (1) acciona el compresor del dispositivo y de este modo proporciona compresión para un ciclo de refrigeración de propano en bucle cerrado para preenfriar el flujo de gas natural y (2) produce una alimentación de gas natural expandido y helado para un procedimiento de licuefacción.

15

Descripción detallada de la invención

[0021] La presente invención se refiere a un procedimiento para producir GNL a partir de flujos de gas ricos en metano, tales como gas natural tal como este término se define anteriormente. El gas natural contemplado en este documento comprende en general al menos el 50 por ciento en moles de metano, preferentemente, por lo menos el 75 por ciento en moles de metano y, más preferentemente, por lo menos el 90 por ciento en moles de metano. El resto de gas natural en general comprende otros hidrocarburos combustibles tales como, entre otros, cantidades menores de etano, propano, butano, pentano e hidrocarburos más pesados y componentes no combustibles tales como dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y nitrógeno.

25

[0022] La presencia de hidrocarburos más pesados tales como etano, propano, butano, pentano e hidrocarburo que hierven a un punto de ebullición por encima del propano se reduce, en general, en el gas natural a través de etapas de separación gas-líquido. El hidrocarburo que hierve a una temperatura por encima del punto de ebullición del pentano o hexano se dirige, en general, al aceite crudo. El hidrocarburo que hierve sustancialmente a una temperatura por encima del punto de ebullición del etano y por debajo del punto de ebullición del pentano o hexano, en general, se elimina y se considera que son líquidos de gas natural o "LGN" para los propósitos de la presente invención. Dichos LGN pueden recuperarse del flujo de alimentación de gas natural empleado en la invención, tanto aguas arriba como aguas abajo del procedimiento descrito en la presente memoria.

30

[0023] Para la mayoría de los mercados, también es deseable minimizar la presencia de no combustibles y contaminantes en GNL tales como dióxido de carbono, helio y nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. En función de la calidad de un determinado depósito de gas natural (que puede contener tanto como del 50 % a 70 % de dióxido de carbono), el gas natural puede ser preprocesado en una planta de gas natural para la preeliminación de dichos componentes o puede ser transportado directamente a la planta para el preprocesamiento antes de la fabricación de GNL.

40

[0024] En general, el gas natural se pone a disposición o se transporta a presiones elevadas tan altas como 2800 psig (193,1 barg) o más. De acuerdo con la presente invención, las alimentaciones de gas natural adecuadas tendrán presiones, en general, superiores a las normalmente proporcionadas en una instalación de GNL, tal como una presión de al menos aproximadamente 13,8 bar (200 psig) más que la presión de diseño de los procedimientos de licuefacción de GNL normales, que se han diseñado normalmente para una presión de alimentación de aproximadamente 650 psig (44,8 barg) a 1000 psig (69,0 barg). Deseablemente, la presión de alimentación empleada en el procedimiento de la presente invención es de aproximadamente 1000 psig (69,0 barg), o más, tal como de aproximadamente 1300 psig (89,6 barg) a aproximadamente 2500 psig (172,4 barg), o más. La temperatura del gas natural depende de su fuente de origen. Cuando el gas natural es gasoducto, su temperatura puede aproximarse a condiciones ambientales tales como, por ejemplo, 0 °F (-17,8 °C) a 120 °F (48,9 °C), más normalmente de 50 °F (10 °C) a 100 °F (37,8 °C). Si las condiciones de gas natural se miden en la proximidad de un dispositivo de transporte tal como un compresor de gas natural, el equipo de salida y poscompresión puede dictar o afectar la temperatura y presión de la alimentación de gas natural.

50

[0025] Las etapas de pretratamiento adecuadas para su uso con la presente invención, en general, comienzan con etapas comúnmente identificadas y conocidas en relación con la producción de LNG, incluidas, entre otras, la eliminación de gases ácidos (tales como H₂S y CO₂), mercaptanos, mercurio y la humedad del flujo de gas

55

natural. Los gases ácidos y los mercaptanos se eliminan comúnmente mediante un procedimiento de sorción que emplea una solución acuosa que contiene amina u otros tipos de disolventes físicos o químicos conocidos. Esta etapa se realiza, en general, aguas arriba de la zona de licuefacción de gas natural. Una parte sustancial del agua se elimina, en general, como un líquido a través de una separación de gas-líquido de dos fases, antes o después de un enfriamiento de bajo nivel, seguido por un procesamiento de tamiz molecular para la eliminación de trazas de agua. Las etapas de eliminación de agua se producen, en general, aguas arriba de cualquier expansión como se contempla en la presente memoria. El mercurio se elimina mediante el uso de lechos de sorbente de mercurio. Las cantidades residuales de agua y gases ácidos se eliminan más frecuentemente mediante el uso de lechos sorbentes particularmente seleccionados, tales como tamices moleculares regenerables. Dichos lechos de sorbente particularmente seleccionados están situados, en general, aguas arriba de la mayoría de las etapas de licuefacción de gas natural.

[0026] La presente invención se describe haciendo referencia a la Fig. 1, que representa una realización de la invención, en la que el exceso de presión de un flujo de gas natural presurizado se utiliza mediante la expansión del flujo de gas en un dispositivo expansor/compresor para producir un trabajo mecánico que por ejemplo (1) acciona el compresor del dispositivo y, de este modo, proporciona compresión para un ciclo de refrigeración de propano en bucle cerrado para preenfriar el flujo de gas natural y (2) produce una alimentación de gas natural expandido y helado para un procedimiento de licuefacción. El ciclo de refrigeración también puede utilizar cualquier otro refrigerante conocido en la técnica, tal como un refrigerante mixto dual.

[0027] Con referencia a la Fig. 1, se introduce en el procedimiento a través de la línea 10 una alimentación de gas natural a una presión relativamente alta, tal como de aproximadamente 1000 psig (69,0 barg) a 2500 psig (172,4 barg) y, más deseablemente, de 1300 psig (89,6 barg) a 2500 psig (172,4 barg). Dicha alimentación puede estar a temperaturas ambiente, de aproximadamente 50 °F (10 °C) a 100 °F (37,8 °C), como se ha mencionado anteriormente. La línea 10 dirige la alimentación de gas natural a una máquina refrigeradora 15 en la que la alimentación se enfría mediante intercambio de calor indirecto con un refrigerante, por ejemplo, propano, transportado mediante un sistema de bucle cerrado. El refrigerante puede introducirse en la máquina refrigeradora 15 en forma de dos fases (vapor y líquido), pero se prefiere que la cantidad de vapor se minimice de tal manera que el refrigerante esté sustancialmente en la fase líquida. El refrigerante se introduce en la máquina refrigeradora 15 por la tubería 120. En la máquina refrigeradora 15, el refrigerante es vaporizado y sale de la máquina refrigeradora 15 por la tubería 50. La alimentación de gas natural se enfría en la máquina refrigeradora 15 y sale por la tubería 20. La alimentación de gas natural enfriada sale esencialmente a la misma presión que se carga en la máquina refrigeradora 15 y a una temperatura que puede estar entre -34,4 °C (-30 °F) y 50 °F (10 °C) si la alimentación es introducida en el procedimiento de la invención a los intervalos de temperatura y presión anteriormente descritos.

[0028] La alimentación de gas natural enfriado se transporta entonces por la línea 20 al turboexpansor 25, en el que se introduce en la parte expansora 30 del mismo. En la parte expansora 30, la alimentación de gas natural puede expandirse para ajustar su presión a esencialmente la presión de diseño del procedimiento de licuefacción que se va a emplear en la producción de GNL. Normalmente, la presión del gas natural se expande hasta aproximadamente 650 psig (44,8 barg) a 1000 psig (69,0 barg). La temperatura de la alimentación de gas natural helado que sale de la parte expansora 30 a través de la tubería 140 puede estar a temperaturas relativamente bajas que se pueden emplear ventajosamente como alimentación a una unidad de recuperación de GNL (si se desea) y/o a una zona de licuefacción, tal como una temperatura de -100°F (-73,3 °C) hasta -60 °F (-51,1 °C). Si se desea, también es posible dirigir la alimentación de gas natural enfriado a las unidades del procedimiento para la eliminación de gases ácidos o contaminantes de mercurio, aunque puede ser más ventajoso eliminar dichos contaminantes antes de la etapa de preenfriamiento previamente descrita.

[0029] El vapor de refrigerante transportado por la tubería 50 desde la máquina refrigeradora 15 se comprime en la parte de compresor 40 del turboexpansor 25. Después de la compresión en la parte de compresor 40 el vapor de refrigerante presurizado es transportado por la tubería 60 al condensador 70. El condensador 70 puede ser un intercambiador de calor enfriado por aire, pero también se puede utilizar cualquier aparato de intercambio de calor conocido en la técnica. El condensador 70 se usa para condensar, al menos parcialmente, el refrigerante en la fase líquida y, preferentemente, para condensar sustancialmente la mayor parte y, más preferentemente, todo el refrigerante en la fase líquida. Además, aunque no se muestra en la Fig. 1, se prefiere emplear un refrigerador adicional aguas abajo del condensador 70 para subenfriar el flujo de refrigerante líquido condensado, al menos parcialmente (y preferentemente todo), de manera que después de que el refrigerante salga de un dispositivo de reducción de la presión 90, como se describe más adelante, la fracción de vapor del flujo de refrigerante se minimiza, es decir, es, preferentemente, menor que 0,5 y, más preferentemente, menor que 0,35. A continuación, el refrigerante enfriado se dirige a través del dispositivo de reducción de la presión 90, tal como una válvula Joule-

Thompson, en el que el refrigerante se enfría adicionalmente. El refrigerante enfriado se puede entonces dirigir opcionalmente por la línea 100 al recipiente separador 110, que separa y recupera el refrigerante en forma de vapor y dirige el mismo a través de las líneas 130 y 50 de vuelta a la parte de compresor 40. El refrigerante se dirige a continuación desde el recipiente separador 110 al refrigerador 15 a través de la línea 120. Ventajosamente, en general es más conveniente omitir simplemente la línea 100, el recipiente separador 110 y la línea 130, como se ilustra en el ejemplo descrito a continuación, de manera que después de dirigirse al dispositivo de reducción de la presión 90, el flujo de refrigerante resultante se envía directamente a la máquina refrigeradora 15 a través de la línea 120. De esta manera, en la máquina refrigeradora 15 se utiliza sustancialmente todo el flujo de refrigerante helado que en este punto puede ser de dos fases (vapor y líquido).

10

[0030] La alimentación de gas natural refrigerada se dirige a una zona de licuefacción para la producción de GNL, cuya zona de licuefacción puede comprender cualquier procedimiento de licuefacción conocido en la técnica. Ejemplos de un procedimiento de licuefacción en cascada se describen en las patentes de Estados Unidos 4.172.711, 5.537.827, 5.669.234 y 6.158.240. Ejemplos de procedimientos de licuefacción por tipo refrigerante mixto se describen en la patente de Estados Unidos 4.901.533 (ciclo de refrigerante mixto único); patentes de EE.UU. 4.545.795 y 6.119.479 (ciclos de refrigerante mixto dual); y la patente de Estados Unidos 6.253.574 (ciclos de refrigerante mixto triple).

[0031] Mediante el uso del exceso de presión disponible en dichas alimentaciones de gas natural, como se ha descrito anteriormente, solo se necesita proporcionar la refrigeración necesaria para disminuir la temperatura de la alimentación helada a aquella en la que se produce la licuefacción, tal como desde -90 °F (-67,8 °C) a -260 °F (-162,2 °C), en lugar de a partir de temperaturas ambiente, tales como 75 °F (23,9 °C) a -260 °F (-162,2 °C). Como resultado, se pueden producir volúmenes aumentados de GNL para la misma cantidad de potencia de planta instalada (refrigeración) en un procedimiento convencional de GNL. Este aumento de la producción puede ser del orden del 15% al 20% para la misma potencia instalada. Como alternativa, el uso de tal exceso de presión puede utilizarse para reducir el coste de capital y/o los costes operativos del procedimiento mediante la reducción de la potencia instalada necesaria para producir una cantidad dada de GNL.

[0032] Además, se puede utilizar el trabajo de expansión obtenido expandiendo el flujo de alimentación de gas natural presurizado en un dispositivo de expansión, tal como un turboexpansor, para proporcionar compresión para otros flujos de refrigerante empleados en la zona de licuefacción, como compresión para los flujos de refrigerante en cascada utilizados en un procedimiento de licuefacción del tipo en cascada como se ha mencionado anteriormente e incorporado en este documento como referencia, o un procedimiento de tipo refrigerante mixto (que puede emplear uno o más ciclos de refrigerante mixtos), como se ha mencionado anteriormente e incorporado en este documento como referencia. El trabajo de expansión también podría utilizarse para impulsar un generador eléctrico para la producción de electricidad, ya sea para su uso en el procedimiento de licuefacción o para la exportación a una red eléctrica local.

[0033] La presente invención se describe adicionalmente mediante el siguiente ejemplo, que debe entenderse como un ejemplo proporcionado solo con fines ilustrativos y no para limitar el alcance de las reivindicaciones adjuntas en este documento.

Formas específicas de realización de la invención

[0034] En este ejemplo, el procedimiento y el aparato empleados en la práctica de la invención se utilizan para refrigerar un flujo de alimentación de gas natural antes de la recuperación de los componentes GNL en el mismo y su uso adicional en la fabricación de GNL en una planta de licuefacción de gas natural, como un procedimiento de refrigerante mixto dual, o tipo cascada, diseñado para producir alrededor de 5 millones de toneladas métricas al año de GNL.

50

[0035] La alimentación de gas natural empleada se trata primero para eliminar los contaminantes, el agua y los componentes de gas ácido, tales como CO₂ y compuestos que contienen azufre, y después de dicho pretratamiento tiene la siguiente composición en una base de porcentaje en moles: metano (94,12%), etano (3,34%), propano (1,23%), i-butano (0,31%), n-butano (0,38%), i-pentano (0,20%) y n-pentano (0,20%) y hexano (0,22%). La alimentación de gas natural, en el punto dentro de la línea 10 de la Fig. 1, tiene una temperatura de 23,9 °C y una presión de 137,9 barg. La tasa de flujo molar y de masa de la alimentación de gas natural en la línea 10 es como se muestra en la Tabla I a continuación.

[0036] El aparato utilizado es el que se describe en referencia a la Fig. 1 (los números de referencia para el

equipo y la tubería se conservan en el presente documento para una mejor comprensión), excepto como se describe de otra manera en lo sucesivo. El propano se utiliza como refrigerante. En el bucle de refrigerante de propano y aguas abajo del condensador 70, se utiliza un refrigerador adicional, tal como un intercambiador de calor enfriado por aire (no se muestra en la Fig. 1) para subenfriar el refrigerante de propano líquido después de condensarlo en el condensador 70, de manera que después de que el refrigerante salga de la válvula Joule-Thompson 90, el flujo de refrigerante esté todavía sustancialmente en la fase líquida. Las condiciones del refrigerante de propano después de ser enfriado en el condensador 70, pero antes de ser subenfriado, se indican en la Tabla I en la columna para el flujo de procedimiento 75 (cuyo flujo no se muestra en la Fig. 1) y las condiciones del refrigerante después de haber sido subenfriado, pero antes de introducirse en la válvula Joule-Thompson 90, se muestran en la Tabla I en la columna para el flujo de procedimiento 80. Además, el aparato empleado no utiliza la línea 100, el separador 110 o la línea 130 como se muestra en la Fig. 1. Más bien, después de salir de la válvula Joule-Thompson 90, el flujo de refrigerante de propano frío resultante (ahora dos fases de flujo-fracción de vapor de 0,305) es transportado por la línea 120 directamente a la máquina refrigeradora 15. Las condiciones del flujo de refrigerante que sale de la válvula Joule-Thompson 90 se muestran en la Tabla I en la columna para el flujo de procedimiento 120.

[0037] Otros flujos de procedimiento empleados en el aparato de este ejemplo, que de otro modo corresponden a los de la Fig. 1, son como se muestran en la Tabla I. Además, la expansión de la alimentación de gas natural enfriado en la parte expansora 30 del turboexpansor 25 da como resultado la generación de 10.430 kilovatios (kw) de potencia mecánica, que se utiliza para comprimir el refrigerante de propano en la parte de compresor 40 del turboexpansor 25.

[0038] La alimentación de gas natural helada resultante en la tubería 140 se produce a una tasa de flujo molar de 49.807 kmol/hora y una tasa de flujo de masa de 872.832 kg/h, que a continuación se dirige a un aparato convencional para la recuperación de una parte de los GNL que se condensan después de la expansión del flujo de gas natural enfriado 20 en la parte expansora 30 del turboexpansor 25. Después de la recuperación de GNL, la parte restante del flujo de alimentación de gas natural refrigerado se envía a la planta de licuefacción para su preparación

Tabla I

Nº. de flujo	10	20	50	60	75	80	120	140
Fración de vapor	1	1	1	1	0	0	0,305	0,938
Temp. (°C)	23,9	-11,5	-17,0	49,6	32,2	29,4	-17,0	-56,8
Presión (barg)	137,9	137,9	2,7	11,5	11,4	11,3	2,7	55,2
Tasa de flujo molar (kmol/h)	49.807	49.807	9.464	9.464	9.464	9.464	9.464	49.807
Tasa de flujo de masa (kg/h)	872.832	872.832	417.341	417.341	417.341	417.341	417.831	872.832

[0039] Otras realizaciones y ventajas de la invención serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de una consideración de esta memoria descriptiva o de la práctica de la invención descrita en este documento. Se pretende que esta memoria descriptiva sea considerada como ejemplar solamente con el alcance de la invención indicado por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para licuar un flujo de gas natural presurizado que comprende:
- 5 (a) proporcionar un flujo de gas natural presurizado (10) a una primera presión y una primera temperatura;
- (b) enfriar el flujo de gas natural presurizado mediante intercambio de calor indirecto con un flujo de refrigerante frío (120) para producir un flujo de gas natural presurizado y enfriado (20) a una segunda temperatura más fría que la primera temperatura; y
- 10 (c) expandir el flujo de gas natural presurizado frío en un dispositivo de expansión (30), en el que el trabajo de expansión a partir del dispositivo de expansión (30) se utiliza para accionar un compresor (40) que comprime un flujo de refrigerante (50) para producir un flujo de refrigerante presurizado (60), produciéndose la expansión antes de la licuefacción, dando como resultado un flujo de alimentación de gas natural helado (140) dirigido a una zona de
- 15 licuefacción de gas natural;
- (d) enfriar el flujo de refrigerante presurizado para producir un flujo de refrigerante presurizado (80) al menos parcialmente condensado y frío;
- 20 (e) expandir (90) el flujo de refrigerante presurizado, al menos parcialmente condensado, para producir el flujo de refrigerante frío empleado en (b); y
- (f) licuar el flujo de alimentación de gas natural helado en la zona de licuefacción de gas natural.
- 25 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la zona de licuefacción comprende un procedimiento de licuefacción en cascada.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la zona de licuefacción comprende un procedimiento de licuefacción de tipo refrigerante mixto.
- 30 4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la primera presión es 70,0 bar absolutos (1000 psig), o más.
5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que la primera presión es 90,6 bar absolutos (1300 psig),
- 35 o más.
6. El procedimiento la reivindicación 5, en el que la primera presión es de 90,6 bar absolutos (1300 psig) hasta 173,4 bar absolutos (2500 psig).
- 40 7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la primera temperatura es de 10 °C (50 °F) a 37,8 °C (100 °F).
8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el flujo de refrigerante comprende propano.
- 45 9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la segunda temperatura es de -34,4 °C (-30 °F) a 10 °C (50 °F).
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el dispositivo de expansión (30)
- 50 es un turboexpansor (25).
11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el flujo de alimentación de gas natural helado tiene una presión de 45,8 bar absolutos (650 psig) a 70,0 bar absolutos (1000 psig).
- 55 12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el flujo de alimentación de gas natural helado tiene una temperatura de -73,3 °C (-100 °F) a -51,1 °C (-60 °F).

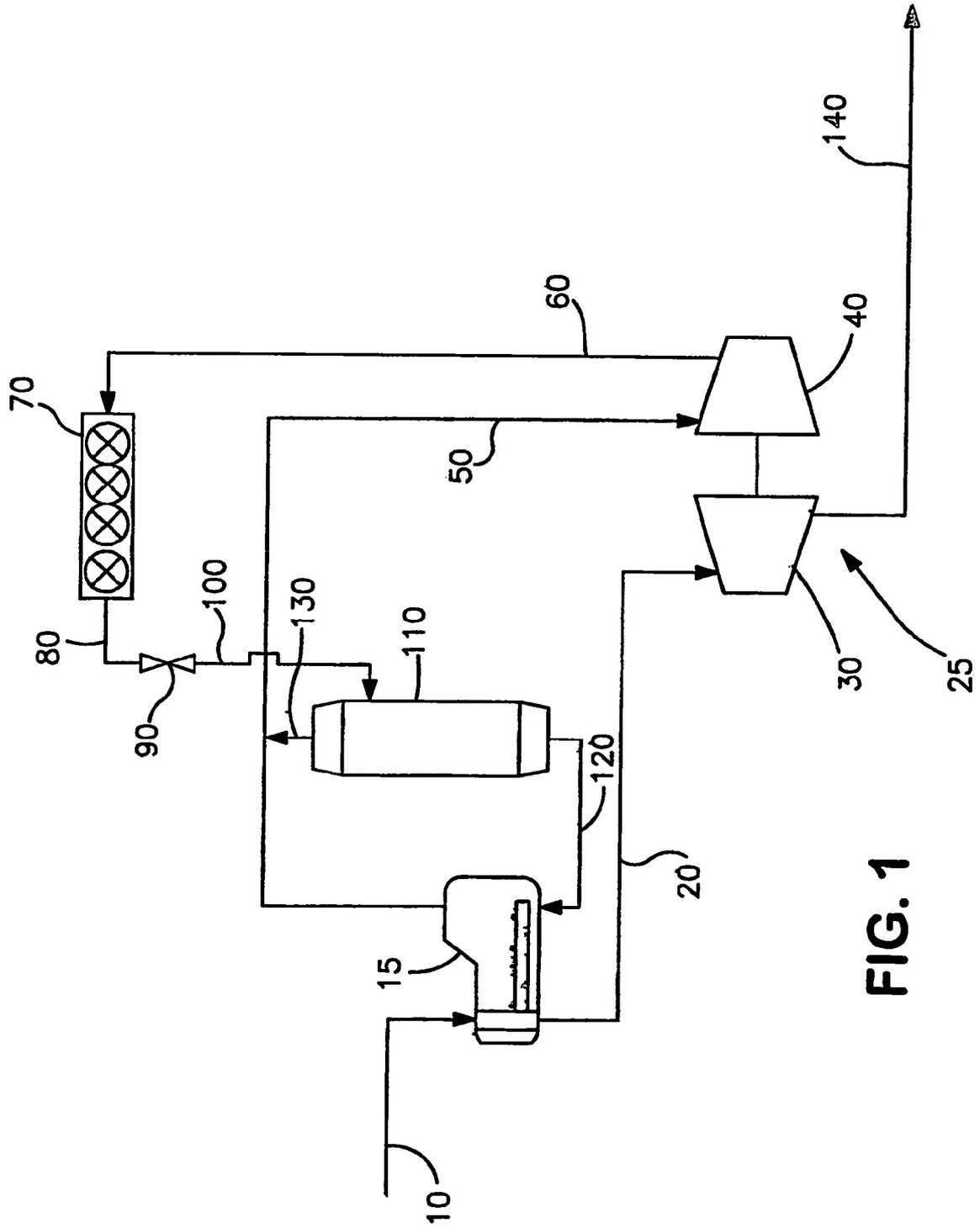


FIG. 1