

SISTEMA REFRIGERANTE MIXTO DUAL

ANTECEDENTES

1. Campo de la Invención

La presente invención se refiere en general a procesos y sistemas para la
5 recuperación de un gas natural licuado ("GNL") a partir de un gas que contiene
hidrocarburos. Más particularmente, la presente invención está generalmente
relacionada con los procesos y sistemas que comprenden un sistema refrigerante
mixto dual.

2. Descripción del Arte Relacionado

10 En los últimos años, la demanda de gas natural ha aumentado. En muchos
casos, el gas natural se encuentra en las zonas que se encuentran a distancia de
los mercados para el gas natural. A menos que el gas natural se encuentre lo
suficientemente cerca de un mercado de modo que sea factible construir un
gasoducto para transportar el gas natural, se debe transportar por cisternas o
15 similares. El transporte de gas natural en forma de vapor requiere
prohibitivamente volúmenes de cisternas grandes; por lo tanto, el gas natural se
licua habitualmente para el almacenamiento y el transporte. El uso de gas natural
licuado y métodos para su almacenamiento son bien conocidos. El gas natural
también puede ser licuado en el punto de uso cuando está disponible en exceso,
20 pero puede ser necesario en volúmenes más grandes que se pueden suministrar
hasta el punto de uso en el futuro. Dicho almacenamiento se puede utilizar, por
ejemplo, para satisfacer una demanda pico en la estación de invierno de gas
natural en exceso del disponible a través de un sistema de gasoducto existente
durante los períodos de demanda pico de invierno. Varias otras aplicaciones
25 industriales requieren que el gas natural se licue para el almacenamiento.

Anteriormente, sustancias tales como gas natural se han licuado mediante procesos tales como los que se muestran en la Patente de los Estados Unidos N° 4.033.735, que utilizan un solo refrigerante mixto. Dichos procesos tienen muchas ventajas sobre otros procesos tales como los sistemas de cascada, en cuanto a
5 que requieren equipos menos costosos y son menos difíciles de controlar. Desafortunadamente, los procesos de refrigerante mixto individuales requieren un poco más de energía que los sistemas de cascada.

Los sistemas de cascada, tales como el sistema que se muestra en la Patente de los Estados Unidos No. 3.855.810, básicamente utilizan una pluralidad
10 de zonas de refrigeración en las cuales se vaporizan los refrigerantes de la disminución de los puntos de ebullición para proporcionar refrigeración. Sin embargo, los sistemas de cascada todavía padecen de ineficiencias operativas.

A pesar de los avances realizados en las tecnologías de licuefacción de gas natural, aún se necesitan mejoras en cuanto a la eficiencia operativa y el
15 consumo de energía.

SÍNTESIS

Una o más formas de realización descritas en el presente documento se refieren a un proceso para la licuefacción de un gas que contiene hidrocarburos. El proceso comprende: (a) la introducción de un primer refrigerante mixto
20 completamente condensado, un segundo refrigerante mixto comprimido, y una corriente de alimentación que comprende el gas que contiene hidrocarburos en un primer sistema de refrigeración; (b) la expansión de al menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado para formar un primer refrigerante mixto expandido, en donde el primer refrigerante mixto
25 completamente condensado no se somete a separación de fases antes o después

de la etapa de expansión; (c) el enfriamiento de al menos una porción de la corriente de alimentación y el segundo refrigerante mixto comprimido en el primer sistema de refrigeración a través del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto expandido para formar una primera corriente de alimentación
 5 enfriada y un segundo refrigerante mixto completamente condensado; (d) la expansión de al menos una porción del segundo refrigerante mixto completamente condensado para formar un segundo refrigerante mixto expandido; y (e) el enfriamiento de al menos una porción de la primera corriente de alimentación enfriada en un segundo sistema de refrigeración a través de
 10 intercambio de calor indirecto con el segundo refrigerante mixto expandido para formar una segunda corriente de alimentación enfriada, en donde el segundo sistema de refrigeración comprende una única zona de enfriamiento.

Una o más formas de realización descritas en el presente documento se refieren a un proceso para la licuefacción de un gas que contiene hidrocarburos.
 15 El proceso comprende: (a) la introducción de un primer refrigerante mixto completamente condensado, un segundo refrigerante mixto comprimido, y una corriente de alimentación que comprende el gas que contiene hidrocarburos en un primer sistema de refrigeración; (b) la expansión de al menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado para formar un primer
 20 refrigerante mixto expandido; (c) el enfriamiento de al menos una porción de la corriente de alimentación y el segundo refrigerante mixto comprimido en el primer sistema de refrigeración a través de intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto expandido para formar una primera corriente de alimentación enfriada y un segundo refrigerante mixto completamente condensado; (d) la
 25 expansión de al menos una porción del segundo refrigerante mixto

- completamente condensado para formar un segundo refrigerante mixto expandido; (e) el enfriamiento de al menos una porción de la primera corriente de alimentación enfriada en un segundo sistema de refrigeración a través de intercambio de calor indirecto con el segundo refrigerante mixto expandido para
- 5 formar una segunda corriente de alimentación enfriada, en donde el primer sistema de refrigeración y el segundo sistema de refrigeración están contenidos en el mismo intercambiador de calor; y (f) la expansión de al menos una porción de la segunda corriente de alimentación enfriada para formar una corriente de GNL.
- 10 Una o más formas de realización descritas en el presente documento se refieren a un sistema para la licuefacción de un gas que contiene hidrocarburos. El sistema comprende: (a) un primer sistema de refrigeración que comprende una pluralidad de zonas de enfriamiento dispuestas en su interior, en donde cada una de las zonas de enfriamiento están configuradas para enfriar un segundo
- 15 refrigerante mixto y una corriente de alimentación que comprende el gas que contiene hidrocarburo a través de intercambio de calor indirecto con un primer refrigerante mixto para formar de esta manera una primera corriente de alimentación enfriada y un segundo refrigerante mixto completamente condensado; (b) un primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado, al
- 20 menos parcialmente dispuesto dentro del primer sistema de refrigeración, en donde el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado comprende el primer refrigerante mixto y el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado no contiene un separador de fases; (c) un segundo sistema de refrigeración en comunicación de fluido con el primer sistema de refrigeración, en donde el
- 25 segundo sistema de refrigeración comprende una única zona de enfriamiento

dispuesta en su interior y la zona de enfriamiento está configurada para enfriar la primera corriente de alimentación enfriada mediante intercambio de calor indirecto con el segundo refrigerante mixto para formar una segunda corriente de alimentación enfriada; y (d) un segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado, al menos parcialmente dispuesto dentro del segundo sistema de refrigeración, en donde el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado comprende el segundo refrigerante mixto y no contiene un separador de fases.

BREVES DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las formas de realización de la presente invención se describen en el presente documento con referencia a las siguientes figuras de los dibujos, en donde:

La FIG. 1 representa un sistema refrigerante mixto de circuito cerrado dual para la recuperación de una corriente de gas natural licuado a partir de una corriente de gas de alimentación de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La FIG. 2 representa un sistema refrigerante mixto de circuito cerrado dual que comprende un turboexpansor, separador de productos pesados, y compresor conectados al primer sistema de refrigeración de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La FIG. 3 representa un sistema refrigerante mixto de circuito cerrado dual que comprende un turboexpansor y separador de productos pesados conectados al primer sistema de refrigeración y un compresor conectado al primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La FIG. 4 representa un sistema refrigerante mixto de circuito cerrado dual que comprende un turboexpansor y separador de productos pesados conectados al primer sistema de refrigeración y un compresor conectado al segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La FIG. 5 representa un sistema refrigerante mixto de circuito cerrado dual que comprende un turboexpansor, separador de productos pesados, y compresor conectados al segundo sistema de refrigeración de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La FIG. 6 representa un sistema refrigerante mixto de circuito cerrado dual que comprende un turboexpansor y separador de productos pesados conectados al segundo sistema de refrigeración y un compresor conectado al primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención; y

La FIG. 7 representa un sistema refrigerante mixto de circuito cerrado dual que comprende un turboexpansor y separador de productos pesados conectados al segundo sistema de refrigeración y un compresor conectado al segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La siguiente descripción detallada de las formas de realización de la invención hace referencia a los dibujos acompañantes. Las formas de realización están destinadas a describir varios aspectos de la invención en suficiente detalle para permitir a los expertos en la técnica practicar la invención. Otras formas de realización se pueden utilizar y se pueden realizar cambios sin apartarse del

alcance de las reivindicaciones. La siguiente descripción detallada, por lo tanto, no se debe tomar en un sentido limitativo. El alcance de la presente invención se define sólo por las reivindicaciones adjuntas, junto con el alcance completo de equivalentes a los que tales reivindicaciones tienen derecho.

5 La presente invención se refiere en general a procesos y sistemas para la licuefacción de un gas que contiene hidrocarburos para formar con ello una corriente de GNL que comprende metano. Tal como se describe a continuación, estos procesos y sistemas pueden utilizar un sistema refrigerante mixto dual para
10 hidrocarburos. Varias formas de realización del sistema de refrigeración mixto dual se describen más adelante de acuerdo con las FIGS. 1–7.

 Volviendo ahora a la FIG. 1, se proporciona una representación esquemática de una instalación de recuperación de GNL 10 configurada de acuerdo con una o más formas de realización de la presente invención. La
15 instalación de recuperación de GNL 10 puede ser operable para condensar y subenfriar una porción sustancial del metano en la corriente entrante de alimentación de gas que contiene hidrocarburos por el enfriamiento del gas con un primer sistema de refrigeración 12 y un segundo sistema de refrigeración 14. Los detalles adicionales con respecto a la configuración y operación de la
20 instalación de recuperación de GNL 10, de acuerdo con diversas formas de realización de la presente invención, se describen a continuación en referencia a las FIGS. 1–7.

 Tal como se muestra en la FIG. 1, una corriente de alimentación de gas que contiene hidrocarburos inicialmente se puede introducir en la instalación de
25 GNL 10 a través del conducto 110. El gas que contiene hidrocarburos puede ser

cualquier corriente de fluido que contiene hidrocarburos adecuada, tal como, por ejemplo, una corriente de gas natural, una corriente de gas de síntesis, una corriente de gas craqueado, gas asociado de producción de petróleo, o sus combinaciones. La corriente de gas que contiene hidrocarburos en el conducto

5 110 puede originarse a partir de una variedad de fuentes de gas (no se muestra), incluyendo, pero sin limitarse a, una red de distribución de gasoducto de gas natural; un pozo de producción de hidrocarburos; una unidad de producción de gas no convencional; una unidad de procesamiento petroquímica; una unidad de procesamiento de lecho de carbón; una unidad de procesamiento de refinería,

10 tales como un cracker catalítico fluidizado (FCC) o coquización de petróleo; o una unidad de procesamiento de petróleo pesado, tal como un mejorador de arenas petrolíferas.

Dependiendo de su fuente, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender cantidades variables de metano, nitrógeno, hidrógeno, monóxido de

15 carbono, dióxido de carbono, especies que contienen azufre, y otros hidrocarburos. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender al menos 1, 5, 10, 15, ó 25 y/o no más de 99, 95, 90, 80, 70, ó 60 por ciento en moles de metano. Más particularmente, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender en el intervalo de 1 a 99, 5 a 95, 10 a 90, 15 a 80, ó 25 a 70 por

20 ciento en moles de metano. Cabe señalar que todos los porcentajes en moles se basan en los moles totales de gas que contiene hidrocarburos.

En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburos comprende poco o nada de hidrógeno. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender menos de 10, 5, 1, ó 0,5 por ciento en moles de

25 hidrógeno.

En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender poco o ningún monóxido de carbono. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender no más de 20, 10, 5, ó 1 por ciento en moles de monóxido de carbono.

- 5 En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender poco o ningún nitrógeno. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender no más de 20, 10, 5, ó 1 por ciento en moles de nitrógeno.

- 10 En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender poco o ningún dióxido de carbono. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender no más de 20, 10, 5, ó 1 por ciento en moles de dióxido de carbono.

- 15 En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender poco o nada de compuestos que contienen azufre, que incluye cualquiera de los compuestos que contienen azufre. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender no más de 20, 10, 5, ó 1 por ciento en moles de compuestos que contienen azufre.

- 20 Además, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender una cierta cantidad de componentes C_2 – C_5 , que incluye isómeros parafínicos y olefínicos de los mismos. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender menos de 30, 25, 15, 10, 5, ó 2 por ciento en moles de los componentes de C_2 – C_5 .

- 25 Además, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender una cierta cantidad de componentes C_{6+} , que incluye compuestos a base de hidrocarburos que tienen una longitud de cadena de carbono de al menos 6 átomos de carbono

y los isómeros parafínicos y olefínicos de los mismos. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender menos de 30, 25, 15, 10, 5, ó 2 por ciento en moles de compuestos C_6+ .

Por otra parte, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender una
5 cierta cantidad de impurezas tales como, por ejemplo, benceno, tolueno, y xileno ("BTX"). Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburo puede comprender menos de 30, 25, 15, 10, 5, 2, ó 1 por ciento en moles de componentes de BTX.

Tal como se muestra en la FIG. 1, el gas que contiene hidrocarburos en el conducto 110 inicialmente se puede dirigir a una zona de pretratamiento 16, en
10 donde uno o más constituyentes indeseables se pueden remover del gas antes del enfriamiento. En una o más formas de realización, la zona de pretratamiento 16 puede incluir uno o más recipientes de separación de vapor-líquido (no se muestra) para la eliminación de componentes de hidrocarburos o agua líquidos a partir del gas de alimentación. Opcionalmente, la zona de pretratamiento 16
15 puede incluir una o más zonas de eliminación de gas (no se muestra), tales como, por ejemplo, una unidad de amina o tamiz molecular, para la eliminación de dióxido de carbono y/o compuestos que contienen azufre de la corriente de gas en el conducto 110.

La corriente de gas tratada que sale de la zona de tratamiento previo 16 a
20 través del conducto 112 puede entonces dirigirse a una unidad de deshidratación 18, en donde sustancialmente toda el agua residual se puede eliminar de la corriente de gas de alimentación. La unidad de deshidratación 18 puede utilizar cualquier sistema de eliminación de agua conocido, tal como, por ejemplo, lechos de tamiz molecular. Una vez seca, la corriente de gas en el conducto 114 puede
25 tener una temperatura de al menos 5, 10, ó 15°C y/o no más de 50, 45, ó 40°C.

Más particularmente, la corriente de gas en el conducto 114 puede tener una temperatura en el rango de 5 a 50°C, 10 a 45°C, ó 15 a 40°C. Adicional o alternativamente, la corriente de gas en el conducto 114 puede tener una presión de al menos 1,5, 2,5, 3,5, ó 4,0 y/o no más de 9,0, 8,0, 7,5, ó 7 MPa. Más particularmente, la corriente de gas en el conducto 114 puede tener una presión en el rango de 1,5 a 9,0, 2,5 a 8,0, 3,5 a 7,5, ó 4,0 a 7,0 MPa.

Tal como se muestra en la FIG. 1, la corriente de alimentación que contiene hidrocarburos en el conducto 114 se puede introducir en un primer pasaje de enfriamiento 22 en la primera zona de enfriamiento 20 del primer sistema de refrigeración 12. Tal como se describe más adelante, el primer sistema de refrigeración 12 puede ser cualquier intercambiador de calor o series de intercambiadores de calor operables para enfriar y condensar al menos parcialmente la corriente de gas de alimentación en el conducto 114 a través del intercambio de calor indirecto con un primer refrigerante mixto. En una o más formas de realización, el primer sistema de refrigeración 12 puede ser un intercambiador de calor de aluminio con soldadura fuerte que comprende una pluralidad de pasajes de enfriamiento y calentamiento (por ejemplo, núcleos) dispuestos en su interior para facilitar el intercambio de calor indirecto entre una o más corrientes de proceso y una o más corrientes de refrigerante.

La corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje 22 de la primera zona de enfriamiento 20 se puede enfriar mediante intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento de refrigerante 24, que se describe a continuación con más detalle. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "refrigerante

mixto" se refiere a una composición refrigerante que comprende dos o más constituyentes.

La corriente de gas en el conducto 116 se puede entonces introducir en un segundo pasaje de refrigeración 28 en la segunda zona de enfriamiento 26 del primer sistema de refrigeración 12. En diversas formas de realización, la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del paso de enfriamiento 28 de la segunda zona de enfriamiento 26 se puede enfriar mediante intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento de refrigerante 30, que se describe a continuación con más detalle.

En ciertas formas de realización, al menos una porción del componente de metano en la corriente de gas de alimentación se puede condensar fuera de la fase de vapor durante el enfriamiento para proporcionar con ello una corriente de fluido de dos fases enfriada en el conducto 118. Alternativamente, en ciertas formas de realización, la segunda zona de enfriamiento 26 no condensará el componente de metano en la corriente de gas de alimentación y la corriente de fluido resultante en el conducto 118 será una corriente de vapor de una sola fase.

La corriente de gas en el conducto 118 se puede entonces introducir en un tercer pasaje de enfriamiento 34 en la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12. En ciertas formas de realización, la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 se puede enfriar mediante intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento de refrigerante 36, que se describe a continuación con más detalle.

En diversas formas de realización, al menos una porción del componente de metano en la corriente de gas de alimentación se puede condensar fuera de la

fase de vapor para proporcionar con ello una corriente de fluido de dos fases enfriada en el conducto 120. En una o más formas de realización, al menos 5, 10, 25, 50, 60, 70, 80, ó 90 por ciento de la cantidad total de metano introducido en el primer sistema de refrigeración 12 se puede condensar al salir de la tercera zona de enfriamiento 32. Alternativamente, en ciertas formas de realización, la tercera zona de enfriamiento 32 no condensará el componente de metano en la corriente de gas de alimentación y la corriente de fluido resultante en el conducto 120 será una corriente de vapor de una sola fase.

Tal como se muestra en la FIG. 1, la corriente de alimentación que contiene hidrocarburos en el conducto 120 a continuación, se puede introducir en un pasaje de enfriamiento 40 en la zona de enfriamiento individual 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Tal como se describe más adelante, el segundo sistema de refrigeración 14 puede ser un intercambiador de calor operable para condensar y subenfriar la corriente de gas de alimentación en el conducto 120 a través del intercambio de calor indirecto con un segundo refrigerante mixto. En una o más formas de realización, el segundo sistema de refrigeración 14 puede ser un intercambiador de calor de aluminio con soldadura fuerte que comprende una pluralidad de pasajes de enfriamiento y calentamiento (por ejemplo, núcleos) dispuestos en su interior para facilitar el intercambio de calor indirecto entre una o más corrientes de proceso y una o más corrientes de refrigerante.

A pesar de que no se representa en las FIGS. 1–7, en diversas formas de realización, el primer sistema de refrigeración 12 y el segundo sistema de refrigeración 14 pueden estar contenidos en el mismo intercambiador de calor y cada una de las zonas de enfriamiento antes mencionadas (20, 26, 32, y 38) se pueden conectar en serie en un solo núcleo dentro de este intercambiador de

calor. Además, a pesar de que las FIGS. 1–7 representan conductos físicos entre las zonas de enfriamiento (20, 26, 32, y 38), un experto en la técnica apreciará fácilmente que podría haber formas de realización en las que no existen conductos físicos entre las zonas de enfriamiento (20, 26, 32, y 38),
5 especialmente en formas de realización en las que las zonas de enfriamiento (20, 26, 32, y 38) están conectados en serie.

La corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 se puede condensar y subenfriar a través del intercambio de calor indirecto con el segundo
10 refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento de refrigerante 42, que se describe a continuación con más detalle.

Al salir del segundo sistema de refrigeración 14, la corriente de alimentación subenfriada en el conducto 122 se puede entonces expandir a través del pasaje a través de un dispositivo de expansión 44, en el que la presión de la
15 corriente se puede reducir. El dispositivo de expansión 44 puede comprender cualquier dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. A pesar de que se ilustra en la FIG. 1 como que comprende un único dispositivo 44, se debe entender que cualquier número adecuado de dispositivos de expansión se puede emplear. En ciertas
20 formas de realización, la expansión puede ser una sustancialmente expansión isoentálpica o expansión isoentrópica. Tal como se utiliza en el presente documento, el término "isoentálpica sustancialmente" se refiere a un paso intermitente o expansión llevado a cabo de tal manera que menos de 1 por ciento del trabajo total generado durante la expansión se transfiere desde el fluido al
25 medio ambiente circundante. Tal como se usa en el presente documento, la

expansión "isentrópica" se refiere a un paso intermitente o expansión en la que una mayoría o sustancialmente todo el trabajo generado durante la expansión se transfiere al medio ambiente circundante.

La corriente expandida en el conducto 124 se puede regular por la válvula 46. La corriente enfriada que sale de la válvula 46 a través del conducto 126 puede ser un producto de GNL-enriquecido. Tal como se utiliza en el presente documento, "GNL-enriquecido" significa que la composición particular comprende al menos 50 por ciento en moles de metano. El producto de GNL-enriquecido en el conducto 126 puede tener una temperatura más fría que -120°C , -130°C , -140°C , ó -145°C y/o más caliente que -195°C , -190°C , -180°C , o -165°C . Más particularmente, el producto de GNL-enriquecido en el conducto 126 puede tener una temperatura en el rango de -120°C a -195°C , -130°C a -190°C , -140°C a -180°C , o -145°C a -165°C .

Volviendo a la FIG. 1, el primer sistema de refrigeración 12 y el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado se describen ahora a continuación en más detalle. Tal como se muestra en la FIG. 1, el primer sistema de refrigeración 12 contiene tres zonas de enfriamiento (20, 26, y 32), en donde el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado se encuentra al menos parcialmente dispuesto en su interior.

El primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado comprende el primer refrigerante mixto y se representa en la FIG. 1 como sigue. Al salir del pasaje de calentamiento de refrigerante 24 en la primera zona de enfriamiento 20, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 se transfiere a un sistema compresor 48 que comprende una primera etapa del compresor 54, una segunda etapa de compresión 52, y una tercera etapa de compresión 50.

En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede estar a una presión de al menos 1,5, 2,0, ó 2,7 MPa y/o no más de 5,0, 4,0, ó 3,5 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede estar a una presión en el rango de 1,5 a 5,0 MPa, 2,0 a 4,0 MPa, ó 2,7 a 3,5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede estar a una temperatura inferior a 50, 35, ó 25°C y/o más cálida que -40, -30, ó -20°C. Más particularmente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede estar a una temperatura en el rango de -40 a 50°C -30 a 35°C, ó -20 hasta 25°C.

10 A pesar de que se muestra que contiene sólo tres etapas en la FIG. 1, un experto en la técnica apreciará fácilmente que el compresor 48 se puede modificar para incluir más o menos etapas como sea necesario. En diversas formas de realización, el sistema compresor 48 puede comprender un compresor axial, compresor centrífugo, compresor alternativo, compresor de tornillo, o una
15 combinación de los mismos. Además, el sistema de compresor 48 se puede conducir por una turbina de vapor, turbina de gas, motor eléctrico, o combinaciones de los mismos.

En diversas formas de realización, el refrigerante puede filtrarse a través de los sellos del compresor 48. En dichas formas de realización, en lugar de purgar
20 el refrigerante perdido, se puede utilizar un proceso de recuperación de gas de sellado que recupera al menos una porción del refrigerante y lo devuelve al circuito de refrigeración. Un proceso de recuperación de gas de sellado se describe en la Patente de los Estados Unidos No. 8.066.023, que se incorpora en el presente documento como referencia en su totalidad. Por ejemplo, el

compresor 48 puede estar equipado con un venturi (no se muestra) para retener cualquier gas de sellado filtrado desde el compresor.

El primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 se puede introducir en la tercera etapa del compresor 50. En diversas formas de realización, la
5 tercera etapa del compresor 50 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso a una presión de al menos 2,5, 4,0, ó 4,8 MPa y/o no más de 8,0, 7,0 ó 6,3 MPa. Más particularmente, la tercera etapa del compresor 50 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso a una presión en el intervalo de 2,5 a 8,0 MPa, 4,0 a 7,0 MPa, ó 4,8 a 6,3 MPa.

10 El primer refrigerante mixto comprimido se transfiere a través del conducto 130 para descargar refrigerante 56, en donde la corriente se puede enfriar hasta una aproximación con temperaturas ambiente y se condensa totalmente a través del intercambio de calor indirecto con un medio de refrigeración externo (por ejemplo, agua de enfriamiento o aire). Tal como se utiliza en el presente
15 documento, "completamente condensado" significa que la corriente identificada comprende menos de 1,0 por ciento en moles de vapor. En una o más formas de realización, la corriente completamente condensada puede comprender menos de 0,5, 0,1, 0,05, ó 0,001 por ciento en moles de vapor. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto debe ser un líquido a la presión de
20 descarga del refrigerante.

Al salir del enfriador de descarga 56 a través del conducto 132, el primer refrigerante mixto completamente condensado se introduce en el pasaje de enfriamiento 58 en la primera zona de enfriamiento 20. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el
25 conducto 132 puede estar a una presión de al menos 2,5, 4,0, ó 4,8 MPa y/o no

más de 8,0, 7,0, ó 6,3 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 132 puede estar a una presión en el rango de 2,5 a 8,0 MPa, 4,0 a 7,0 MPa, ó 4,8 a 6,3 MPa. Adicional o
 5 conducto 132 puede estar en una aproximación a temperaturas ambiente.

En el pasaje de enfriamiento 58, el primer refrigerante mixto completamente condensado se puede subenfriar a través del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento del refrigerante 24, que se describe más adelante.

10 Al salir del pasaje de enfriamiento 58 a través del conducto 134, al menos una porción de la corriente se puede dirigir a través del conducto 136 al dispositivo de expansión 60, en donde la presión de la corriente se puede reducir, enfriando de ese modo y, en algunas formas de realización, al menos vaporizando parcialmente la corriente de refrigerante. El dispositivo de expansión 60 puede
 15 comprender cualquier dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. A pesar de que se ilustra en la FIG. 1 como que comprende un único dispositivo 60, se debe entender que cualquier cantidad adecuada de dispositivos de expansión se puede emplear. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser una expansión
 20 sustancialmente isoentálpica o expansión isoentrópica.

Antes de la expansión, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 136 puede estar a una presión de al menos 2,5, 4,0, ó 4,8 MPa y/o no más de 8,0, 7,0, ó 6,3 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 136 puede estar a
 25 una presión en el rango de 2,5 a 8,0, 4,0 a 7,0, ó 4,8 a 6,3 MPa. Adicional o

alternativamente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 136 puede estar a una temperatura inferior a 30, 25, ó 15°C y/o más cálida que -40, -30, o -5°C. Más particularmente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 136 puede estar a una temperatura

5 en el rango de -40 a 30°C, -30 a 25°C, ó -5-15°C.

En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado no está sometido a separación de fases antes o después de la etapa de expansión. Tal como se utiliza en el presente documento, "separación de fases" implica la separación de una corriente de dos fases, que

10 contiene generalmente fases líquida y de vapor, en sus fases respectivas.

El primer refrigerante mixto expandido se introduce en el pasaje de calentamiento de refrigerante 24 a través del conducto 138, en donde el primer refrigerante mixto expandido puede ser vaporizado con el fin de proporcionar refrigeración a la primera zona de enfriamiento 20.

15 En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede comprender menos de 5, 3, 1, 0,5, ó 0,1 por ciento en moles de una fase de vapor. Además, en ciertas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede estar a una presión de al menos 1,5, 2,0, ó 2,7 MPa y/o no más de 5,0, 4,0, o 3,5 MPa. Más

20 particularmente, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede estar a una presión en el rango de 1,5 a 5,0 MPa, 2,0 a 4,0 MPa, ó 2,7 a 3,5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede estar a una temperatura inferior a 30, 25, ó 15°C y/o más cálida que -40, -30, o -5°C. Más particularmente, el primer refrigerante mixto

expandido en el conducto 138 puede estar a una temperatura en el rango de -40 a 30°C , -30 a 25°C , ó -5 a 15°C .

El primer refrigerante mixto vaporizado, gaseoso deja el pasaje de calentamiento refrigerante 24 a través del conducto 128 tal como se describe
5 anteriormente.

Volviendo de nuevo a la FIG. 1, al menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 134 se dirige al pasaje de enfriamiento 62 en la segunda zona de enfriamiento 26. En el pasaje de enfriamiento 62, el primer refrigerante mixto completamente condensado se
10 puede subenfriar adicionalmente a través del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento de refrigerante 30, que se describe adicionalmente a continuación.

Al salir del pasaje de refrigeración 62 a través del conducto 140, al menos una porción de la corriente se puede dirigir a través del conducto 142 al
15 dispositivo de expansión 64, en donde la presión de la corriente se puede reducir, enfriando de ese modo y, en algunas formas de realización, al menos vaporizando parcialmente la corriente de refrigerante. El dispositivo de expansión 64 puede comprender cualquier dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. A pesar de que se ilustra
20 en la FIG. 1 como que comprende un único dispositivo 64, se debe entender que cualquier cantidad adecuada de dispositivos de expansión se puede emplear. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser sustancialmente una expansión isoentálpica o expansión isoentrópica. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado no se somete
25 a separación de fases antes o después de la etapa de expansión.

Antes de la expansión, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 142 puede estar a una presión de al menos 2,5, 4,0, ó 4,8 MPa y/o no más de 8,0, 7,0, o 6,3 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 142 puede estar a una presión en el rango de 2,5 a 8,0, 4,0 a 7,0, ó 4,8 a 6,3 MPa. Adicional o
 5 alternativamente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 142 puede estar a una temperatura inferior a 0, -10, ó -25°C y/o más cálida que -100, -75, ó -50°C. Más particularmente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 142 puede estar a una temperatura
 10 en el rango de -100 a 0°C, -75 a -10°C, ó -50 a -25°C.

El primer refrigerante mixto expandido se introduce en el pasaje de calentamiento de refrigerante 30 a través del conducto 144, en donde el primer refrigerante mixto expandido se vaporiza con el fin de proporcionar refrigeración a la segunda zona de enfriamiento 26. En diversas formas de realización, el primer
 15 refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede comprender menos de 5, 4, 3, 2, 1, ó 0,1 por ciento en moles de una fase de vapor. Además, en ciertas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede estar a una presión de al menos 0,3, 0,5, ó 0,65 MPa y/o no más de 2,0, 1,7, ó 1,4 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto expandido en el
 20 conducto 144 puede estar a una presión en el rango de 0,3 a 2,0 MPa, 0,5 a 1,7 MPa, ó 0,65 a 1,4 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede estar a una temperatura inferior a 0, -10, ó -25°C y/o más cálida que -100, -75, ó -50°C. Más particularmente, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede estar a una temperatura
 25 en el rango de -100 a 0°C, -75 a -10°C, ó -50 a -25°C.

El primer refrigerante mixto vaporizado, gaseoso sale del pasaje de calentamiento de refrigerante 30 a través del conducto 146 y se puede introducir en la segunda etapa del compresor 52. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede estar a una presión de por lo menos 0,3, 0,5, ó 0,65 MPa y/o no más de 2,0, 1,7, ó 1,4 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede estar a una presión en el rango de 0,3 a 2,0 MPa, 0,5 a 1,7 MPa, ó 0,65 a 1,4 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede estar a una temperatura inferior a 30, 25, ó 15°C y/o más cálida que -40, -30, o -5°C. Más particularmente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede estar a una temperatura en el rango de -40 a 30°C, -30 a 25°C, ó -5 a 15°C.

En diversas formas de realización, la segunda etapa del compresor 52 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso a una presión de al menos 1,5, 2,0 ó 2,7 MPa y/o no más de 5,0, 4,0, ó 3,5 MPa. Más particularmente, la segunda etapa del compresor 52 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso a una presión en el rango de 1,5 a 5,0 MPa, 2,0 a 4,0 MPa, ó 2,7 a 3,5 MPa.

El primer refrigerante mixto comprimido de la segunda etapa del compresor 52 se transfiere a través del conducto 148 al enfriador entre etapas 66, en donde la corriente se puede enfriar mediante intercambio de calor indirecto con un medio de enfriamiento externo (por ejemplo, agua de enfriamiento o aire). Al salir del enfriador entre etapas 66 a través del conducto 150, la corriente comprimida en el conducto 150 se puede introducir en el conducto 128, donde se puede dirigir a

una compresión adicional en la tercera etapa del compresor 50 tal como se describe anteriormente.

Volviendo de nuevo a la FIG. 1, al menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 140 se dirige al pasaje de enfriamiento 68 en la tercera zona de enfriamiento 32. En el pasaje de enfriamiento 68, el primer refrigerante mixto completamente condensado se puede subenfriar adicionalmente a través del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento de refrigerante 36, que se describe adicionalmente a continuación.

Al salir del pasaje de enfriamiento 68 a través del conducto 152, la corriente enfriada se puede dirigir al dispositivo de expansión 70, en donde la presión de la corriente se puede reducir, enfriando así y vaporizando al menos parcialmente la corriente de refrigerante. El dispositivo de expansión 70 puede comprender cualquier dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. A pesar de que se ilustra en la FIG. 1 como que comprende un único dispositivo 70, se debe entender que cualquier cantidad adecuada de dispositivos de expansión se puede emplear. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser una sustancialmente expansión isoentálpica o expansión isoentrópica. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado no se somete a separación de fases antes o después de la etapa de expansión.

Antes de la expansión, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 152 puede estar a una presión de al menos 2,5, 4,0, ó 4,8 MPa y/o no más de 8,0, 7,0, ó 6,3 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 152 puede estar a

una presión en el intervalo de 2,5 a 8,0, 4,0 a 7,0, ó 4,8 a 6,3 MPa. Adicional o
alternativamente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el
conducto 152 puede estar a una temperatura inferior a -20 , -40 , ó -60°C y/o más
cálida que -120 , -90 , o -75°C . Más particularmente, el primer refrigerante mixto
5 completamente condensado en el conducto 152 puede estar a una temperatura
en el rango de -120 a -20°C , -90 a -40°C , o -75 a -60°C .

El primer refrigerante mixto expandido se introduce en el pasaje de
calentamiento de refrigerante 36 a través del conducto 154, en donde el primer
refrigerante mixto expandido se vaporiza con el fin de proporcionar refrigeración a
10 la tercera zona de enfriamiento 32. En diversas formas de realización, el primer
refrigerante mixto expandido en el conducto 154 puede comprender menos de 10,
7, 6, 4, 2, 1, ó 0,5 por ciento en moles de una fase de vapor. Además, en ciertas
formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 154
puede estar a una presión de al menos 0,1, 0,15, ó 0,2 MPa y/o no más de 2,0,
15 1,5, ó 0,5 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto expandido en el
conducto 154 puede estar a una presión en el rango de 0,1 a 2,0 MPa, 0,15 a 1,5
MPa, o de 0,2 a 0,5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante
mixto expandido en el conducto 154 puede estar a una temperatura inferior a -20 ,
 -40 , ó -60°C y/o más cálida que -120 , -90 , o -75°C . Más particularmente, el
20 primer refrigerante mixto expandido en el conducto 154 puede estar a una
temperatura en el rango de -120 a -20°C , -90 a -40°C , ó -75 a -60°C .

El primer refrigerante mixto vaporizado, gaseoso sale del pasaje de
calentamiento de refrigerante 36 a través del conducto 156 y se puede introducir
en la primera etapa del compresor 54. En diversas formas de realización, el
25 primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 156 puede estar a una presión

de por lo menos 0,1, 0,15, ó 0,2 MPa y/o no más de 2,0, 1,5, ó 0,5 MPa. Más particularmente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 156 puede estar a una presión en el rango de 0,1 a 2,0 MPa, 0,15 a 1,5 MPa, o de 0,2 a 0,5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el

5 conducto 156 puede estar a una temperatura inferior a 0, -10, ó -25°C y/o más cálida que -100, -75, o -50°C. Más particularmente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 156 puede estar a una temperatura en el rango de -100 a 0°C, -75 a -10°C, o -50 a -25°C.

Al salir de la primera etapa del compresor 54 a través del conducto 158, la

10 corriente comprimida en el conducto 158 se puede introducir en el conducto 146, donde se puede dirigir a una compresión adicional en la segunda etapa del compresor 52 y la tercera etapa del compresor 50 tal como se describe anteriormente. En diversas formas de realización, la primera etapa del compresor 54 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso a una presión de al

15 menos 0,3, 0,5, ó 0,65 MPa y/o no más de 2,0, 1,7, ó 1,4 MPa. Más particularmente, la primera etapa del compresor 54 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso a una presión en el rango de 0,3 a 2,0 MPa, 0,5 a 1,7 MPa, ó 0,65 a 1,4 MPa.

En diversas formas de realización, y tal como se representa en la FIG. 1, el

20 primer sistema de refrigeración 12 y el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado no contiene un separador de fases. Tal como se utiliza en el presente documento, un "separador de fase" se entiende que abarca cualquier dispositivo diseñado exclusivamente para separar una corriente parcialmente condensada en fracciones de líquido y vapor. En consecuencia, esto no incluiría,

25 por ejemplo, tambores de succión ni tambores reguladores.

En ciertas formas de realización, los conductos 136, 138, 142, 144, 152, y 154 en la FIG. 1, estando físicamente presente, se pueden situar fuera de sus respectivas zonas de enfriamiento (20, 26, y 32). En dichas formas de realización, los conductos 136, 138, 142, 144, 152 y 154 se podrían situar fuera del intercambiador de calor o intercambiadores de calor que contengan las respectivas zonas de enfriamiento (20, 26, y 32).

El primer refrigerante mixto puede comprender dos o más constituyentes seleccionados del grupo que consiste en nitrógeno, metano, etileno, etano, propileno, propano, isobutano, n-butano, isopentano, n-pentano, y combinaciones de los mismos. En algunas formas de realización, el primer refrigerante mixto puede comprender al menos dos compuestos seleccionados del grupo que consiste en hidrocarburos que contienen de 2 a 4 átomos de carbono. En ciertas formas de realización, el primer refrigerante mixto puede tener una presión de punto de burbuja entre 2,5 a 5,65 MPa a alrededor de temperaturas ambiente.

En algunas formas de realización de la presente invención, puede ser deseable ajustar la composición del primer refrigerante mixto para alterar con ello su curva de enfriamiento y, por lo tanto, su potencial de refrigeración. Dicha modificación se puede utilizar para acomodar, por ejemplo, cambios en la composición y/o caudal de la corriente de gas de alimentación que se introduce en la instalación de recuperación de GNL. En una forma de realización, la composición del primer refrigerante mixto se puede ajustar de tal manera que la curva de calentamiento del refrigerante de vaporización coincide más estrechamente con la curva de enfriamiento de la corriente de gas de alimentación y el refrigerante cálido. Un método para tal emparejamiento de curva

se describe en detalle en la Patente de los Estados Unidos No. 4.033.735, cuya descripción se incorpora en el presente documento como referencia en su totalidad.

Volviendo una vez más a la FIG. 1, el segundo sistema de refrigeración 14 y el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado se describen ahora con más detalle. Tal como se muestra en la FIG. 1, el segundo sistema de refrigeración 14 contiene una sola zona de enfriamiento 38, en donde el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado se encuentra al menos parcialmente dispuesto en su interior. Tal como se utiliza en el presente documento, "zona de enfriamiento individual" significa que el sistema comprende sólo una zona en donde la corriente de alimentación se enfría mediante intercambio de calor indirecto con un solo refrigerante. En dichas formas de realización, el sistema identificado no contendrá ninguna otra zona de enfriamiento. En ciertas formas de realización, el único refrigerante puede comprender el primer refrigerante mixto expandido o el segundo refrigerante mixto expandido. En diversas formas de realización, el segundo sistema de refrigeración 12 comprende, consiste esencialmente en, o consiste en una sola zona de enfriamiento.

El segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado comprende el segundo refrigerante mixto y se representa en la FIG. 1 como sigue. Al salir del pasaje de calentamiento de refrigerante 42 en la zona de enfriamiento 38, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 se transfiere a un sistema del compresor 72 que comprende una primera etapa del compresor 74 y una segunda etapa del compresor 76. En diversas formas de realización, el compresor 72 puede estar configurado para recuperar gas de sellado tal como se describió

anteriormente en lo que se refiere al compresor 48. Por lo tanto, en ciertas formas de realización, el compresor 72 puede contener un venturi (no se muestra) diseñado para retener gas de sellado filtrado fuera del compresor.

En diversas formas de realización, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 se encuentra a una presión en el rango de 0,1, 0,15, ó 0,2 MPa y/o no más de 2,0, 1,5, o 0,5 MPa. Más particularmente, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 puede estar a una presión en el rango de 0,1 a 2,0 MPa, 0,15 a 1,5 MPa, o de 0,2 a 0,5 MPa. Adicional o alternativamente, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 se encuentra a una temperatura inferior a -20°C , -40°C , o -60°C y/o más cálida que -120°C , -90°C , ó -75°C . Más particularmente, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 puede estar a una temperatura en el rango de -120°C a -20°C , -90°C a -40°C , ó -75°C a -60°C .

A pesar de que se representa como que contiene sólo dos etapas en la FIG. 1, un experto en la técnica apreciará fácilmente que el compresor 72 puede ser modificado para incluir más o menos etapas como sea necesario. En diversas formas de realización, el sistema compresor 72 puede comprender un compresor axial, compresor centrífugo, compresor alternativo, compresor de tornillo, o una combinación de los mismos. Además, el sistema de compresor 72 se puede conducir por una turbina de vapor, turbina de gas, motor eléctrico, o combinaciones de los mismos.

El segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 se introduce en la primera etapa del compresor 74 y luego se transfiere a través del conducto 162 al enfriador entre etapas 78, en donde la corriente se puede enfriar hasta una aproximación con la temperatura ambiente a través del intercambio de calor

indirecto con un medio de enfriamiento externo (por ejemplo, agua de enfriamiento o aire). En diversas formas de realización, la primera etapa del compresor 74 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso a una presión de al menos 0,3, 0,5, ó 0,65 MPa y/o no más de 3,0, 2,5, ó 2,0 MPa. Más particularmente, la primera etapa del compresor 74 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso a una presión en el rango de 0,3 a 3,0 MPa, 0,5 a 2,5 MPa, ó 0,65 a 2,0 MPa.

El segundo refrigerante mixto enfriado se puede entonces introducir en la segunda etapa del compresor 76 a través del conducto 164, en donde el segundo refrigerante mixto se comprime adicionalmente. En diversas formas de realización, la segunda etapa del compresor 76 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso a una presión de al menos 2,5, 4,0, ó 4,8 y/o no más de 8,0, 7,0, ó 6,0 MPa. Más particularmente, la segunda etapa del compresor 76 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso a una presión en el rango de 2,5 a 8,0 MPa, 4,0 a 7,0 MPa, ó 4,8 a 6,0 MPa.

El segundo refrigerante mixto comprimido se introduce a continuación en el enfriador de descarga 80 a través del conducto 166, en donde la corriente se puede enfriar adicionalmente hasta una aproximación con temperatura ambiente a través del intercambio de calor indirecto con un medio de refrigeración externo (por ejemplo, agua de enfriamiento o aire).

El segundo refrigerante mixto comprimido en el conducto 168 se introduce a continuación en el pasaje de enfriamiento 82 en la primera zona de enfriamiento 20 del primer sistema de refrigeración 12. En diversas formas de realización, el segundo refrigerante mixto comprimido en el conducto 168 se puede encontrar a una presión de por lo menos 2,5, 4,0 ó 4,8 MPa y/o no más de 8,0, 7,0 ó 6,0 MPa.

Más particularmente, el segundo refrigerante mixto comprimido en el conducto 168 puede estar a una presión en el rango de 2,5 a 8,0 MPa, 4,0 a 7,0 MPa, ó 4,8 a 6,0 MPa. Adicional o alternativamente, el segundo refrigerante mixto comprimido en el conducto 168 se puede encontrar o estar cerca de la temperatura ambiente.

En el pasaje de enfriamiento 82, el segundo refrigerante mixto se puede enfriar adicionalmente a través del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento de refrigerante 24. Mientras que en el pasaje de enfriamiento 82, el segundo refrigerante mixto se puede enfriar hasta una temperatura inferior a la de punto de rocío de la mezcla refrigerante.

El segundo refrigerante mixto enfriado en el conducto 170 luego se introduce en el pasaje de enfriamiento 84 en la segunda zona de enfriamiento 26 del primer sistema de refrigeración 12. En el pasaje de enfriamiento 84, el segundo refrigerante mixto se puede enfriar adicionalmente mediante intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento del refrigerante 30. Mientras que en el pasaje de enfriamiento 84, el segundo refrigerante mixto se puede enfriar hasta una temperatura por debajo del punto de rocío de la mezcla refrigerante.

El segundo refrigerante mixto enfriado en el conducto 172 se introduce luego en el pasaje de enfriamiento 86 en la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12. En el pasaje de enfriamiento 86, el segundo refrigerante mixto se puede enfriar adicionalmente mediante intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pasaje de calentamiento del refrigerante 36. Mientras que en el pasaje de enfriamiento 86, el segundo

refrigerante mixto se puede enfriar hasta una temperatura por debajo del punto de burbuja de la mezcla refrigerante.

Al salir del primer sistema de refrigeración 12 a través del conducto 174, el segundo refrigerante mixto en el conducto 174 está completamente condensado.

- 5 El segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 174 luego se puede introducir en el pasaje de enfriamiento 88 en la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14.

- Al salir del pasaje de enfriamiento 88 a través del conducto 176, la segunda corriente de refrigerante mixto subenfriado se puede dirigir hasta el dispositivo de expansión 90, en donde la presión de la corriente se puede reducir, enfriando así y vaporizando la corriente de refrigerante. Antes de la expansión, el segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 puede estar a una presión de al menos 2,5, 4,0, ó 4,8 MPa y/o no más de 8,0, 7,0, ó 6,0 MPa. Más particularmente, el segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 se puede encontrar a una presión en el rango de 2,5 a 8,0, 4,0 a 7,0, ó 4,8 a 6,0 MPa. Adicional o alternativamente, el segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 se puede encontrar a una temperatura más fría que -120 , -130 , -140 , ó -145°C y/o más cálida que -195 , -190 , -180 , ó -165°C . Más particularmente, el segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 se puede encontrar a una temperatura en el rango de -120 a -195°C , -130 a -190°C , -140 a -180°C , o -145 a -165°C .

- El dispositivo de expansión 90 puede comprender cualquier dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. A pesar de que se ilustra en la FIG. 1 como que comprende un

único dispositivo 90, se debe entender que cualquier cantidad adecuada de dispositivos de expansión se puede emplear. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser una sustancialmente expansión isoentálpica o expansión isoentrópica.

5 La corriente expandida en el conducto 178 se puede regular por la válvula 92. En diversas formas de realización, la corriente expandida en el conducto 178 puede comprender menos de 15, 10, 8, 6, 2, ó 1 por ciento en moles de una fase de vapor. Además, en ciertas formas de realización, la corriente expandida en el conducto 178 se puede encontrar a una presión de al menos 0,3, 0,5, ó 0,65 MPa
10 y/o no más de 3,0, 2,0, ó 1,4 MPa. Más particularmente, la corriente expandida en el conducto 178 puede estar a una presión en el rango de 0,3 a 3,0 MPa, 0,5 a 2,0 MPa, ó 0,65 a 1,4 MPa. Adicional o alternativamente, la corriente expandida en el conducto 178 se puede encontrar a una temperatura más fría que -120 , -130 , -140 , o -145°C y/o más caliente que -195 , -190 , -180 , o -165°C . Más
15 particularmente, la corriente expandida en el conducto 178 puede estar a una temperatura en el rango de -120 a -195°C , -130 a -190°C , -140 a -180°C , ó -145 a -165°C .

El segundo refrigerante mixto expandido en el conducto 180 luego se introduce en el pasaje de calentamiento de refrigerante 42, en donde el segundo
20 refrigerante mixto expandido se vaporiza con el fin de proporcionar refrigeración a la zona de enfriamiento 38. En diversas formas de realización, la corriente expandida en el conducto 180 puede comprender menos del 15, 10, 8, 6, ó 2 por ciento en moles de una fase de vapor. En una o más formas de realización, el segundo refrigerante mixto expandido en el conducto 180 puede ser introducido a
25 una presión en el rango de 0,1, 0,15, ó 0,2 MPa y/o no más de 2,0, 1,5, ó 0,5

MPa. Más particularmente, el segundo refrigerante mixto expandido en el conducto 180 se puede introducir a una presión en el rango de 0,1 a 2,0 MPa, 0,15 a 1,5 MPa, ó 0,2 a 0,5 MPa.

En ciertas formas de realización, los conductos 174, 176, 178, y 180
5 pueden estar situados fuera de la zona de enfriamiento 38. En dichas formas de realización, los conductos 174, 176, 178, y 180 podrían estar ubicados fuera del intercambiador de calor que contiene la zona de enfriamiento 38.

El segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 luego se comprime y se recicla en el proceso descrito anteriormente. En diversas formas
10 de realización, el segundo refrigerante mixto completamente condensado no se somete a separación de fases antes o después de la etapa de expansión.

En diversas formas de realización, y tal como se representa en la FIG. 1, el segundo sistema de refrigeración 14 y el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado no contiene un separador de fases.

15 El segundo refrigerante mixto puede comprender dos o más constituyentes seleccionados del grupo que consiste en nitrógeno, metano, etileno, etano, propileno, propano, isobutano, n-butano, isopentano, n-pentano, y combinaciones de los mismos. En algunas formas de realización, el segundo refrigerante mixto puede comprender al menos dos compuestos seleccionados del
20 grupo que consiste en nitrógeno y los hidrocarburos que contiene de 1 a 3 átomos de carbono. En diversas formas de realización, el segundo refrigerante mixto tendrá una temperatura de punto de burbuja que es inferior a la temperatura del punto de burbuja del primer refrigerante mixto a una presión dada. En ciertas formas de realización, el segundo refrigerante mixto puede tener una presión de
25 punto de burbuja entre 2,5 a 6,1 MPa a temperaturas entre -60 a -75°C.

En algunas formas de realización de la presente invención, puede ser deseable ajustar la composición del segundo refrigerante mixto para alterar con ello su curva de enfriamiento y, por lo tanto, su potencial de refrigeración. Dicha modificación se puede utilizar para acomodar, por ejemplo, cambios en la
5 composición y/o caudal de la corriente de gas de alimentación introducida en la instalación de recuperación de GNL 10. En una forma de realización, la composición del segundo refrigerante mixto se puede ajustar de tal manera que la curva de calentamiento del refrigerante de vaporización coincide más estrechamente con la curva de enfriamiento de la corriente de gas de
10 alimentación y el refrigerante cálido.

Se debe observar que los conductos representados entre las zonas de enfriamiento (20, 26, 32 y 38) en la FIG. 1 se muestran únicamente con fines ilustrativos y, en ciertas formas de realización, un conducto físico puede no estar presente, donde se muestra cada conducto en la FIG. 1.

15 Si bien la FIG. 1 representa una forma de realización de los presentes procesos y sistemas, otras formas de realización se contemplan, tales como las representadas en las FIGS. 2–7, que pueden incorporar un turboexpansor 94, compresor 96 operativamente conectado al turboexpansor 94 y un separador de productos pesados 98. Cabe señalar que todos los componentes del sistema
20 comunes encontrados en las FIGS. 1–7 están todos marcados en consecuencia utilizando los mismos números. Por ejemplo, el primer sistema de refrigeración 12 y el segundo sistema de refrigeración 14 son ambos etiquetados consistentemente a través de las FIGS. 1–7. Además, los componentes del sistema en las FIGS. 1–7 se espera que funcionen de la misma manera o de
25 manera sustancialmente similar, a menos que se indique lo contrario. La única

diferencia de etiquetado entre las FIGS. 1–7 es que los conductos en su interior están marcados de acuerdo con su respectiva figura y forma de realización. Por ejemplo, los respectivos conductos en la FIG. 2 están etiquetados 2XX, mientras que los respectivos conductos en la FIG. 3 están etiquetados 3XX (donde "X" representa un número). Los conductos en las FIGS. 1–7 funcionan de la misma manera siempre (es decir, transfiriendo su respectiva corriente) a menos que se indique lo contrario.

En la FIG. 2, una instalación de recuperación de GNL 10 se representa que contiene un turboexpansor 94 conectado operativamente a través del conducto 220 a la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12. Un turboexpansor se describe adicionalmente en la Patente de los Estados Unidos N° 6.367.286, que se incorpora en el presente documento como referencia en su totalidad.

Tal como se muestra en la FIG. 2, al menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 se puede dirigir a través del conducto 220 al turboexpansor 94, donde se puede expandir en una corriente de dos fases. Como resultado de la expansión, la temperatura de la corriente de fluido emitida o expandida en el conducto 222 puede ser al menos 2, 5, ó 10°C y/o no más de 50, 40, ó 30°C inferior a la temperatura de la corriente en el conducto 220. Además, la presión de la corriente de fluido emitida o expandida en el conducto 222 puede ser al menos 0,1, 0,2, ó 0,3 y/o no más de 5,0, 4,0, ó 3,0 MPa inferior a la presión de la corriente en el conducto 220. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser sustancialmente isentrópica. A pesar de que no se representa en la FIG. 2, un tambor de succión puede estar en comunicación

de fluido entre el turboexpansor 94 y la tercera zona de enfriamiento 32 en ciertas formas de realización.

Además, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 a través del eje 95. El compresor 96 se puede conducir al menos parcialmente a partir del trabajo derivado del turboexpansor 94. Tal como se describe a continuación, el compresor 96 está configurado para al menos parcialmente, comprimir la fracción superior procedente del separador 98. En diversas formas de realización, el compresor 96 puede comprender un compresor axial, compresor centrífugo, compresor alternativo, compresor de tornillo, o una combinación de los mismos.

Además, el compresor 96 se puede conducir por una turbina de vapor, turbina de gas, motor eléctrico, o combinaciones de los mismos.

En diversas formas de realización, el compresor 96 puede estar configurado para recuperar gas de sellado tal como se describió anteriormente con respecto al compresor 48. Por lo tanto, en ciertas formas de realización, el compresor 96 puede contener un venturi (no se muestra) diseñado para retener gas de sellado filtrado fuera el compresor.

Tal como se muestra en la FIG. 2, la corriente de dos fases expandida en el conducto 222 se dirige al separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada líquida que es pobre en metano (conducto 224) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 226). Tal como se utiliza en el presente documento, "pobre en metano" y "rico en metano" se refieren al contenido de metano de los componentes separados en relación con el contenido de metano del componente original del que se derivan los componentes separados. Por lo tanto, un componente rico en metano contiene un mayor porcentaje en moles de metano que el componente del que se deriva, mientras

que un componente pobre en metano contiene un porcentaje en moles menor de metano que el componente del que se deriva. En el presente caso, la corriente inferior pobre en metano contiene un menor porcentaje en moles de metano en comparación con la corriente desde el conducto 222, mientras que la corriente superior rica en metano contiene un mayor porcentaje en moles de metano en comparación con la corriente desde el conducto 222. Las cantidades de la corriente inferior pobre en metano y la corriente superior rica en metano pueden variar dependiendo de los contenidos del gas que contiene hidrocarburos y las condiciones de funcionamiento del recipiente de separación 98.

10 La corriente inferior pobre en metano en el conducto 224 puede estar en la forma de un líquido y puede contener la mayor parte de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono que originalmente se encuentran en la corriente en el conducto 222. Por ejemplo, la corriente inferior pobre en metano en el conducto 224 puede comprender al menos 70, 80, 90, 95, ó 99 por ciento de los
15 compuestos que tienen seis o más átomos de carbono presentes originalmente en la corriente desde el conducto 222.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 226 puede comprender una gran porción de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 226 puede comprender al menos
20 aproximadamente 10, 25, 40, ó 50 y/o no más de aproximadamente 99,9, 99, 95, u 85 por ciento en moles de metano. Más particularmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 226 puede comprender en el rango de aproximadamente 10 a 99,9, 25 a 99, 40 a 95, ó 50 a 85 por ciento en moles de metano. Además, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto

226 puede comprender al menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, ó 99,9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente desde el conducto 222.

El recipiente de separación 98 puede ser cualquier recipiente adecuado de separación vapor-líquido y puede tener cualquier cantidad de etapas de separación reales o teóricas. En una o más formas de realización, el recipiente de separación 98 puede comprender una sola etapa de separación, mientras que en otras formas de realización, el recipiente de separación 98 puede incluir 2 a 10, 4 a 20, ó 6 a 30 etapas de separación reales o teóricas. Cuando el recipiente de separación 98 es un recipiente de separación de múltiples etapas, cualquier tipo adecuado de interiores de columna, tales como eliminadores de empañamiento, almohadillas de malla, bandejas de contacto de vapor-líquido, envasado al azar, y/o envasado estructurado, se puede utilizar para facilitar la transferencia de calor y/o masa entre las corrientes de vapor y líquido. En algunas formas de realización, cuando el recipiente de separación 98 es un recipiente de separación una sola etapa, pocos o ningún interior de columna se puede emplear.

En diversas formas de realización, el recipiente de separación 98 puede operar a una presión de al menos 1,5, 2,5, 3,5, ó 4,5 y/o 9,0, 8,0, 7,0, ó 6,0 MPa. Más particularmente, el recipiente de separación 98 puede operar a una presión en el rango de 1,5 a 9,0, 2,5 a 8,0, 3,5 a 7,0, ó 4,5 a 6,0 MPa.

Como un experto en la técnica apreciará fácilmente, la temperatura en el recipiente de separación 98 puede variar dependiendo del contenido del gas que contiene hidrocarburo introducido en el sistema y la salida deseada. En diversas formas de realización, el recipiente de separación 98 puede operar a una temperatura más fría que 5, 10, ó 15°C y/o más caliente que -195, -185, -175, ó

–160°C. Más particularmente, el recipiente de separación 98 puede operar a una temperatura en el rango de 15 a –195°C, 10 a –185°C, 5 a –175°C, o 5 a –160°C.

Tal como se muestra en la FIG. 2, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 226 se puede dirigir al compresor 96, que comprime la corriente. La corriente comprimida en el conducto 228 luego se reintroduce en el pasaje de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 que se enfría adicionalmente y se condensa tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la FIG. 1.

Cabe señalar que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 238, 240, 242, 244, 246, 248, 250, 252, 254, 256, 258, 260, 262, 264, 266, y 268), y el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 270, 272, 274, 276, 278, 280, 282, 284, 286, 288, y 290) mostrados en la FIG. 2, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIGURA. 2, funcionan de la misma manera como se describió anteriormente con respecto a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 2 se han etiquetado de manera diferente para dar cuenta de la forma de realización del sistema particular que se representa en la FIG. 2. Además, los pasos restantes que participan en licuar el gas que contiene hidrocarburos no tratado anteriormente con respecto a la FIG. 2 (conductos 210, 212, 214, 216, 218, 230, 232, 234, y 236) funcionan de la misma manera o de manera similar que la descrita anteriormente con respecto a la FIG. 1.

En la FIG. 3, una instalación de recuperación de GNL 10 se representa que contiene un turboexpansor 94 conectado operativamente a través del conducto 320 a la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12.

Tal como se muestra en la FIG. 3, al menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 34 de tercera zona de enfriamiento 32 se puede dirigir a través del conducto 320 al turboexpansor 94, donde se puede expandir en una corriente de
5 dos fases. El turboexpansor 94 puede operar bajo las mismas condiciones o condiciones similares que las descritas anteriormente con respecto a la FIG. 2. A pesar de que no se representa en la FIG. 3, un tambor de succión puede estar en comunicación de fluido entre el turboexpansor 94 y tercera zona de enfriamiento 32 en ciertas formas de realización.

10 La corriente de dos fases expandida en el conducto 322 se dirige luego a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada líquida que es pobre en metano (conducto 324) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 326). El separador 98 puede ser el mismo recipiente de separación tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la FIG. 2 y
15 puede funcionar en condiciones de funcionamiento similares. Después de la separación, la fracción de vapor superior en el conducto 326 se reintroduce entonces en el pasaje de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 para enfriarse adicionalmente y condensarse tal como se describe anteriormente con respecto a la FIG. 1.

20 La corriente inferior pobre en metano en el conducto 324 se puede encontrar en la forma de un líquido y puede contener la mayor parte de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono que se encuentran originalmente en la corriente en el conducto 322. Por ejemplo, la corriente inferior pobre en metano en el conducto 324 puede comprender al menos 70, 80, 90, 95,

ó 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono presentes originalmente en la corriente desde el conducto 322.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 326 puede comprender una gran parte de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior
5 rica en metano en el conducto 326 puede comprender al menos aproximadamente 10, 25, 40, ó 50 y/o no más de aproximadamente 99,9, 99, 95, u 85 por ciento en moles de metano. Más particularmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 326 puede comprender en el rango de aproximadamente 10 a 99,9, 25 a 99, 40 a 95, ó 50 a 85 por ciento en moles de
10 metano. Además, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 326 puede comprender al menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, ó 99,9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente desde el conducto 322.

Volviendo de nuevo a la FIG. 3, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 a través del eje 95. El compresor 96 se puede dirigir al menos
15 parcialmente del trabajo derivado de la turboexpansor 94. Tal como se muestra en la FIG. 3, el primer refrigerante mixto vaporizado, gaseoso sale del pasaje de calentamiento del refrigerante 36 en la tercera zona de enfriamiento 32 a través del conducto 364 y se introduce entonces en el compresor 96, donde se comprime antes de la introducción en el compresor 48. Después de la
20 compresión, la corriente comprimida en el conducto 366 se introduce en la primera etapa del compresor 54 y se trata adicionalmente tal como se ha discutido anteriormente con respecto a la FIG. 1. A pesar de que no se representa en la FIG. 3, un tambor de succión puede estar en comunicación de fluido entre el compresor 96 y el pasaje de calentamiento 36.

Cabe señalar que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, y el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 370, 372, 374, 376, 378, 380, 382, 384, 386, 388, y 390) se representan en la FIG. 3, los cuales no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 3, funcionan de la misma manera o de manera similar tal como se describió anteriormente con respecto a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 3 se han etiquetado de manera diferente para dar cuenta de la forma de realización del sistema particular que se representa en la FIG. 3. Además, los pasos restantes que participan en la licuefacción del gas que contiene hidrocarburos no tratados anteriormente con respecto a la FIG. 3 (conductos 310, 312, 314, 316, 318, 328, 330, 332, y 334) y los pasos no contabilizados en el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 336, 338, 340, 342, 344, 346, 348, 350, 352, 354, 356, 358, 360, 362, y 368) funcionan de la misma manera o de manera similar que la descrita anteriormente en relación con la FIG. 1.

En la FIG. 4, una instalación de recuperación de GNL 10 se representa que contiene un turboexpansor 94 conectado operativamente a través del conducto 420 a la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12. Tal como se muestra en la FIG. 4, al menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 se puede dirigir a través del conducto 420 al turboexpansor 94, donde se puede expandir en una corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar bajo las mismas o condiciones similares que las descritas anteriormente con respecto a la FIG. 2. A pesar de que no se representa en la FIG. 4, un tambor de succión puede estar en comunicación

de fluido entre el turboexpansor 94 y la tercera zona de enfriamiento 32 en ciertas formas de realización.

La corriente de dos fases expandida en el conducto 422 se dirige entonces a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada líquida que es pobre en metano (conducto 424) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 426). El separador 98 puede ser el mismo recipiente de separación tal como se ha descrito anteriormente en relación con la FIG. 2 y puede funcionar en condiciones de funcionamiento similares. Luego de la separación, la fracción de vapor superior en el conducto 426 se reintroduce luego en pasaje de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 para adicionalmente enfriarse y condensarse tal como se describió anteriormente con respecto a la FIG. 1.

La corriente inferior pobre en metano en el conducto 424 se puede encontrar en la forma de un líquido y puede contener la mayor parte de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono que originalmente se encuentran en la corriente en el conducto 422. Por ejemplo, la corriente inferior pobre en metano en el conducto 324 puede comprender al menos 70, 80, 90, 95, ó 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono presentes originalmente en la corriente desde el conducto 422.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 426 puede comprender una gran parte de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 426 puede comprender al menos aproximadamente 10, 25, 40, ó 50 y/o no más de aproximadamente 99,9, 99, 95, u 85 por ciento en moles de metano. Más particularmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 426 puede comprender en el rango de

aproximadamente 10 a 99,9, 25 a 99, 40 a 95, ó 50 a 85 por ciento en moles de metano. Además, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 426 puede comprender al menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, ó 99,9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente desde el conducto 422.

5 Volviendo de nuevo a la FIG. 4, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 a través del eje 95. El compresor 96 se puede conducir al menos parcialmente desde el trabajo derivado del turboexpansor 94. Tal como se muestra en la FIG. 4, el segundo refrigerante mixto vaporizado, gaseoso sale del pasaje de calentamiento del refrigerante 42 en la zona de enfriamiento 38 a través
10 del conducto 468 y se introduce entonces en el compresor 96, donde se comprime antes de la introducción en el compresor 72. Después de la compresión, la corriente comprimida en conducto 470 se introduce en la primera etapa del compresor 74 y se trata adicionalmente tal como se ha discutido anteriormente con respecto a la FIG. 1. A pesar de que no se representa en la
15 FIG. 4, un tambor de succión puede estar en comunicación de fluido entre el compresor 96 y el pasaje de calentamiento 42.

Cabe señalar que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, y el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 436, 438, 440, 442, 444, 446, 448, 450, 452, 454, 456, 458, 460, 462,
20 464, y 466) representados en la FIG. 4, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 4, funcionan de la misma o de manera similar que la descrita anteriormente en relación con la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 4 se han etiquetado de manera diferente para dar cuenta de la forma de realización del sistema particular representado en la FIG. 4. Además,
25 los pasos restantes que participan en la licuefacción del gas que contiene

hidrocarburos no tratados anteriormente con respecto a la FIG. 4 (conductos 410, 412, 414, 416, 418, 428, 430, 432 y 434) y los pasos no explicados en el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 472, 474, 476, 478, 480, 482, 484, 486, 488, y 490) funcionan de la misma o de manera similar que la descrita anteriormente en relación con la FIG. 1.

En la FIG. 5, una instalación de recuperación de GNL 10 se representa que contiene un turboexpansor 94 operativamente conectado a través del conducto 522 a la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Tal como se muestra en la FIG. 5, al menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 se puede dirigir a través del conducto 522 al turboexpansor 94, donde se puede expandir en una corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar bajo las mismas o condiciones similares que las descritas anteriormente en lo que se refiere a la FIG. 2. A pesar de que no se representa en la FIG. 5, un tambor de succión puede estar en comunicación de fluido entre el turboexpansor 94 y la zona de enfriamiento 38 en ciertas formas de realización.

La corriente de dos fases expandida en el conducto 524 se dirige entonces a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada líquida que es pobre metano (conducto 526) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 528). El separador 98 puede ser el mismo recipiente de separación tal como se ha descrito anteriormente en relación con la FIG. 2 y puede funcionar en condiciones de funcionamiento similares.

La corriente inferior pobre en metano en el conducto 526 puede estar en la forma de un líquido y puede contener la mayor parte de los compuestos que

tienen seis o más átomos de carbono que originalmente se encuentran en la corriente en el conducto 524. Por ejemplo, la corriente inferior pobre en metano en el conducto 526 puede comprender al menos 70, 80, 90, 95, ó 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono presentes originalmente en la corriente desde el conducto 524.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender una gran parte de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender al menos aproximadamente 10, 25, 40, ó 50 y/o no más de aproximadamente 99,9, 99, 95, u 85 por ciento en moles de metano. Más particularmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender en el rango de aproximadamente 10 a 99,9, de 25 a 99, 40 a 95, ó 50 a 85 por ciento en moles de metano. Además, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender al menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, ó 99,9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente desde el conducto 524.

Volviendo de nuevo a la FIG. 5, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 a través del eje 95. El compresor 96 se puede conducir al menos parcialmente del trabajo derivado del turboexpansor 94. Tal como se muestra en la FIG. 5, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 se puede dirigir al compresor 96, que comprime la corriente. La corriente comprimida en el conducto 530 se reintroduce entonces en el pasaje de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 para adicionalmente condensarse y subenfriarse tal como se describe anteriormente con respecto a la FIG. 1.

Cabe señalar que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado

(conductos 538, 540, 542, 544, 546, 548, 550, 552, 554, 556, 558, 560, 562, 564, 566 y 568), y el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 570, 572, 574, 576, 578, 580, 582, 584, 586, 588, y 590) representados en FIG. 5, que no se describieron anteriormente con respecto a la

5 FIG. 5, funcionan de la misma o de manera similar que la descrita anteriormente en relación con la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 5 se han etiquetado de manera diferente para dar cuenta de la forma de realización del sistema particular representado en la FIG. 5. Además, los pasos restantes que participan en la licuefacción del gas que contiene hidrocarburos no

10 tratado anteriormente con respecto a la FIG. 5 (conductos 510, 512, 514, 516, 518, 520, 532, 534, y 536) funcionan de la misma o de manera similar que la descrita anteriormente con respecto a la FIG. 1.

En la FIG. 6, una instalación de recuperación de GNL 10 se representa que contiene un turboexpansor 94 operativamente conectado a través del conducto

15 622 a la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Tal como se muestra en la FIG. 6, al menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 se puede dirigir a través del conducto 622 al turboexpansor 94, donde se puede expandir en una corriente de

20 dos fases. El turboexpansor 94 puede operar bajo las mismas o condiciones similares que las descritas anteriormente en lo que se refiere a la FIG. 2. A pesar de que no se representa en la FIG. 6, un tambor de succión puede estar en comunicación de fluido entre el turboexpansor 94 y la zona de enfriamiento 38 en ciertas formas de realización.

La corriente de dos fases expandida en el conducto 624 se dirige entonces a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada líquida que es pobre en metano (conducto 626) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 628). El separador 98 puede ser el mismo
5 recipiente de separación como se ha descrito anteriormente en relación con la FIG. 2 y puede funcionar en condiciones de funcionamiento similares. Después de la separación, al menos una porción de la fracción de vapor superior en el conducto 628 se reintroduce entonces en el pasaje de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 para adicionalmente condensarse y subenfriarse como se
10 describió anteriormente con respecto a la FIG. 1.

La corriente inferior pobre en metano en el conducto 626 puede estar en la forma de un líquido y puede contener la mayor parte de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono que originalmente se encuentran en la corriente en el conducto 624. Por ejemplo, la corriente inferior pobre en metano en
15 el conducto 626 puede comprender al menos 70, 80, 90, 95, ó 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono presentes originalmente en la corriente desde el conducto 624.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 628 puede comprender una gran parte de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior
20 rica en metano en el conducto 628 puede comprender al menos aproximadamente 10, 25, 40, ó 50 y/o no más de aproximadamente 99,9, 99, 95, u 85 por ciento en moles de metano. Más particularmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 628 puede comprender en el rango de aproximadamente 10 a 99,9, 25 a 99, 40 a 95, ó 50 a 85 por ciento en moles de
25 metano. Además, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto

628 puede comprender al menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, ó 99,9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente desde el conducto 624.

Volviendo de nuevo a la FIG. 6, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 a través del eje 95. El compresor 96 se puede conducir al menos
5 parcialmente del trabajo derivado del turboexpansor 94. Tal como se muestra en la FIG. 6, el primer refrigerante mixto vaporizado, gaseoso sale del pasaje de calentamiento del refrigerante 36 en la tercera zona de enfriamiento 32 a través del conducto 664 y se introduce entonces en el compresor 96, donde se comprime antes de la introducción en el compresor 48. Después de la
10 compresión, la corriente comprimida en el conducto 666 se introduce en la primera etapa del compresor 54 y se trata adicionalmente tal como se ha discutido anteriormente con respecto a la FIG. 1. A pesar de que no se representa en la FIG. 6, un tambor de succión puede estar en comunicación de fluido entre el compresor 96 y el pasaje de calentamiento 36.

15 Cabe señalar que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, y el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 670, 672, 674, 676, 678, 680, 682, 684, 686, 688, y 690) representados en la FIG. 6, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 6, funcionan de la misma o de manera similar que la descrita
20 anteriormente en relación con la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 6 se han etiquetado de manera diferente para dar cuenta de la forma de realización del sistema particular que se representa en la FIG. 6. Además, los pasos restantes que participan en la licuefacción del gas que contiene hidrocarburos no tratados anteriormente con respecto a la FIG. 6
25 (conductos 610, 612, 614, 616, 618, 620, 630, 632, y 634) y los pasos no

explicados en el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 636, 638, 640, 642, 644, 646, 648, 650, 652, 654, 656, 658, 660, 662, y 668) funcionan de la misma o de manera similar que la descrita anteriormente en relación con la FIG. 1.

5 En la FIG. 7, una instalación de recuperación de GNL 10 se representa que contiene un turboexpansor 94 operativamente conectado a través del conducto 722 a la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Tal como se muestra en la FIG. 7, al menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pasaje de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 se puede dirigir a través del
10 conducto 722 al turboexpansor 94, donde se puede expandir en una corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar bajo las mismas o condiciones similares que las descritas anteriormente en lo que se refiere a la FIG. 2. A pesar de que no se representa en la FIG. 7, un tambor de succión puede estar en
15 comunicación de fluido entre el turboexpansor 94 y la zona de enfriamiento 38 en ciertas formas de realización.

 La corriente de dos fases expandida en el conducto 724 se dirige entonces a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada líquida que es pobre en metano (conducto 726) y una fracción de vapor superior
20 que es rica en metano (conducto 728). El separador 98 puede ser el mismo recipiente de separación tal como se ha descrito anteriormente en relación con la FIG. 2 y puede funcionar en condiciones de funcionamiento similares. Después de la separación, al menos una porción de la fracción de vapor superior en el conducto 728 se reintroduce entonces en el pasaje de enfriamiento 40 de la zona

de enfriamiento 38 para adicionalmente condensarse y subenfriarse tal como se describió anteriormente con respecto a la FIG. 1.

La corriente inferior pobre en metano en el conducto 726 puede estar en la forma de un líquido y puede contener la mayor parte de los compuestos que
5 tienen seis o más átomos de carbono que originalmente se encuentran en la corriente en el conducto 724. Por ejemplo, la corriente inferior pobre en metano en el conducto 626 puede comprender al menos 70, 80, 90, 95, ó 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono presentes originalmente en la corriente desde el conducto 724.

10 La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender una gran parte de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender al menos aproximadamente 10, 25, 40, ó 50 y/o no más de aproximadamente 99,9, 99, 95, u 85 por ciento en moles de metano. Más particularmente, la corriente de vapor
15 superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender en el rango de aproximadamente 10 a 99,9, de 25 a 99, 40 a 95, ó 50 a 85 por ciento en moles de metano. Además, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender al menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, ó 99,9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente desde el conducto 724.

20 Volviendo de nuevo a la FIG. 7, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 a través del eje 95. El compresor 96 se puede conducir al menos parcialmente desde el trabajo derivado del turboexpansor 94. Tal como se muestra en la FIG. 7, el segundo refrigerante mixto vaporizado, gaseoso sale del pasaje de calentamiento del refrigerante 42 en la zona de enfriamiento 38 a través
25 del conducto 768 y se introduce entonces en el compresor 96, donde se

comprime antes de la introducción en el compresor 72. Después de la compresión, la corriente comprimida en conducto 770 se introduce en la primera etapa del compresor 74 y se trata adicionalmente tal como se ha discutido anteriormente con respecto a la FIG. 1. A pesar de que no se representa en la FIG. 7, un tambor de succión puede estar en comunicación de fluido entre el compresor 96 y el pasaje de calentamiento 42.

Cabe señalar que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, y el primer ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 736, 738, 740, 742, 744, 746, 748, 750, 752, 754, 756, 758, 760, 762, 764, y 766) representados en la FIG. 7, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 7, funcionan de la misma o de manera similar que la descrita anteriormente en relación con la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 7 se han etiquetado de manera diferente para dar cuenta de la forma de realización del sistema particular representado en la FIG. 7. Además, los pasos restantes que participan en la licuefacción del gas que contiene hidrocarburos no tratado anteriormente con respecto a la FIG. 7 (conductos 710, 712, 714, 716, 718, 720, 730, 732 y 734) y los pasos no explicados en el segundo ciclo de refrigeración mixto de circuito cerrado (conductos 772, 774, 776, 778, 780, 782, 784, 786, 788, y 790) funcionan de la misma o de manera similar que la descrita anteriormente en relación con la FIG. 1.

DEFINICIONES

Debe entenderse que la siguiente no pretende ser una lista exclusiva de los términos definidos. Otras definiciones se pueden proporcionar en la descripción anterior, tal como, por ejemplo, cuando acompañan el uso de un término definido en el contexto.

Tal como se utiliza en el presente documento, los términos "un", "uno/a" y "el/la" significan uno o más.

Tal como se utiliza en el presente documento, el término "y/o", cuando se utiliza en una lista de dos o más elementos, significa que cualquiera de los
5 elementos de la lista se pueden emplear por sí mismos o cualquier combinación de dos o más de los elementos de la lista se pueden emplear. Por ejemplo, si una composición se describe como que contiene los componentes A, B y/o C, la composición puede contener A solo; B solo; C solo; A y B en combinación; A y C en combinación, B y C en combinación; o A, B, y C en combinación.

10 Tal como se utiliza en el presente documento, los términos "que comprende", "comprende" y "comprenden" son términos de transición indefinida utilizados para la transición de un sujeto recitado antes del término a uno o más elementos recitados después del término, donde el elemento o elementos enumerados después del término de transición no son necesariamente los únicos
15 elementos que componen la materia.

Tal como se utiliza en el presente documento, los términos "que tiene", "tiene" y "tener" tienen el mismo significado indefinido como "que comprende", "comprende" y "comprenden" proporcionado anteriormente.

Tal como se utiliza en el presente documento, los términos "que incluye",
20 "incluye" e "incluido" tienen el mismo significado indefinido como "que comprende", "comprende" y "comprenden" proporcionado anteriormente.

Tal como se utiliza en el presente documento, los términos "primero", "segundo", "tercero", y similares se utilizan para describir diversos elementos y tales elementos no deben limitarse a estos términos. Estos términos se utilizan
25 únicamente para distinguir un elemento de otro y no implican necesariamente un

orden específico o incluso un elemento específico. Por ejemplo, un elemento se puede considerar como un "primer" elemento en la descripción y un "segundo" elemento en las reivindicaciones sin apartarse del alcance de la presente invención. La consistencia se mantiene dentro de la descripción y cada

5 reivindicación independiente, pero tal nomenclatura no pretende necesariamente ser consistente entre las mismas.

RANGOS NUMÉRICOS

La presente descripción utiliza intervalos numéricos para cuantificar algunos parámetros relativos a la invención. Se debe entender que cuando se

10 proporcionan intervalos numéricos, estos rangos deben interpretarse como la proporción de apoyo literal para limitaciones de reivindicación que sólo enumeran el valor inferior del rango, así como las limitaciones de reivindicación que sólo enumeran el valor superior del rango. Por ejemplo, un rango numérico descrito de

15 10 a 100 proporciona apoyo literal para una reivindicación que enumera "mayor que 10" (sin límites superiores) y una reivindicación que enumera "menos de 100" (sin límites inferiores).

REIVINDICACIONES NO LIMITADAS A FORMAS DE REALIZACIÓN DESCRITAS

Las formas preferidas de la invención descritas anteriormente son para

20 utilizarse como ilustración solamente, y no se deben utilizar en un sentido limitativo para interpretar el alcance de la presente invención. Modificaciones a las formas de realización ejemplares, establecidas anteriormente, se pueden realizar fácilmente por los expertos en la técnica sin apartarse del espíritu de la presente invención.

Los inventores por la presente declaran su intención de basarse en la doctrina de los equivalentes para determinar y evaluar el alcance razonablemente justo de la presente invención en lo que respecta a cualquier aparato sin apartarse materialmente de, pero fuera del alcance literal, de la invención tal como se establece en las siguientes reivindicaciones.