

SISTEMA REFRIGERANTE MIXTO DUAL

ANTECEDENTES.

1. Campo de la invención.

La presente invención se refiere generalmente a procesos y sistemas para la
5 recuperación de un gas natural licuado (“GNL”) a partir de un gas que contiene
hidrocarburos. Más en particular, la presente invención se refiere generalmente a
procesos y sistemas que comprenden un sistema refrigerante mixto dual.

2. Descripción de la técnica relacionada.

En los últimos años, la demanda de gas natural ha incrementado. En muchos
10 casos, el gas natural se halla en áreas que se ubican en zonas remotas de los
mercados para el gas natural. A menos que el gas natural esté ubicado
suficientemente cerca de un mercado de modo que sea viable la construcción de
una cañería para el transporte del gas natural, el gas debe ser transportado por
metaneros o similares. El transporte de gas natural como un vapor requiere
15 volúmenes de metaneros prohibitivamente grandes; por lo tanto, el gas natural es
habitualmente licuado para el almacenamiento y el transporte. El uso de gas
natural licuado y los métodos para su almacenamiento son bien conocidos. El gas
natural puede ser además licuado en el punto de uso, cuando está disponible en
excedente, pero puede ser requerido en volúmenes mayores que aquellos que
20 pueden ser suministrados al punto de uso en el futuro. Dicho almacenamiento
puede usarse, por ejemplo, a fin de cumplir con una demanda pico de estación
invernal de gas natural, superior a la disponible a través de un sistema de cañería
existente durante los períodos de demanda pico de invierno. Diversas
aplicaciones industriales adicionales requieren la licuación del gas natural para el
25 almacenamiento.

Anteriormente, las sustancias tales como gas natural han sido licuadas por
procesos como aquellos que se muestran en la Patente de los Estados Unidos

Nro. 4.033.735, que utilizan un único refrigerante mixto. Dichos procesos poseen muchas ventajas sobre otros procesos, tales como los sistemas de cascadas, en términos de que requieren equipamiento menos costoso y son menos difíciles de controlar. Desafortunadamente, los procesos de único refrigerante mixto requieren
5 algo más de potencia que los sistemas de cascada.

Los sistemas de cascada, tales como el sistema que se expone en la Patente de los Estados Unidos Nro. 3.855.810, básicamente utilizan una pluralidad de zonas de refrigeración en las cuales se vaporizan refrigerantes de puntos de ebullición decrecientes a fin de proporcionar el enfriamiento. Sin embargo, los sistemas de
10 cascada aún sufren de ineficiencias operativas.

A pesar de los avances hechos en las tecnologías de licuación de gas natural, aún se necesitan mejoramientos respecto de las eficiencias operativas y el consumo de potencia.

15 **SÍNTESIS.**

Una o más formas de realización descritas en esta solicitud se refieren a un proceso para la licuación de un gas que contiene hidrocarburos. El proceso comprende: (a) la introducción de un primer refrigerante mixto completamente condensado, un segundo refrigerante mixto comprimido, y una corriente de
20 alimentación que comprende el gas que contiene hidrocarburos, en un primer sistema de refrigeración; (b) la expansión de por lo menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado para formar un primer refrigerante mixto expandido, donde el primer refrigerante mixto completamente condensado no se somete a la separación de fases antes o después de la etapa de expansión;
25 (c) el enfriamiento de por lo menos una porción de la corriente de alimentación y el segundo refrigerante mixto comprimido en el primer sistema de refrigeración por medio del 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 expansión de por lo menos una porción del segundo refrigerante mixto completamente condensado para formar un segundo refrigerante mixto expandido, donde el segundo refrigerante mixto completamente condensado no se somete a la separación de fases antes o después de la etapa de expansión; (e) el enfriamiento de por lo menos una porción de la primera corriente de alimentación enfriada en un segundo sistema de refrigeración por medio del intercambio de calor indirecto con el segundo refrigerante mixto expandido para formar una segunda corriente de alimentación enfriada; (f) la expansión de por lo menos una porción de la primera corriente de alimentación enfriada o la segunda corriente de alimentación enfriada en un turboexpansor para formar una corriente de alimentación expandida; (g) la separación de por lo menos una porción de la corriente de alimentación expandida en un separador, para formar una fracción de vapor superior y una fracción inferior líquida; (h) el enfriamiento de por lo menos una porción de la fracción de vapor superior en el primer sistema de refrigeración o el segundo sistema de refrigeración; y (i) el accionamiento de un compresor con el turboexpansor.

Una o más formas de realización descritas en la presente solicitud se refieren a un proceso para la licuación de un gas que contiene hidrocarburos. 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 por lo menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado para formar un primer refrigerante mixto expandido; (c) el enfriamiento de por lo menos una porción de la corriente de alimentación y el segundo refrigerante mixto comprimido en el primer sistema

- de refrigeración por medio del 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 expansión de por lo menos una porción del segundo refrigerante mixto
- 5 completamente condensado para formar un segundo refrigerante mixto expandido; (e) el enfriamiento de por lo menos una porción de la primera corriente de alimentación enfriada en un segundo sistema de refrigeración por medio del intercambio de calor indirecto con el segundo refrigerante mixto expandido para formar una segunda corriente de alimentación enfriada; (f) la separación de por lo
- 10 menos una porción de la segunda corriente de alimentación enfriada en un separador, para formar una fracción de vapor superior y una fracción inferior líquida; y (g) el enfriamiento de por lo menos una porción de la fracción de vapor superior en el primer sistema de refrigeración o el segundo sistema de refrigeración.
- 15 Una o más formas de realización descritas en la presente solicitud se refieren a un sistema para la licuación de un gas que contiene hidrocarburos. El sistema comprende: (a) un primer sistema de refrigeración que comprende una primera zona de enfriamiento allí dispuesta, donde la primera zona de enfriamiento está configurada para enfriar una corriente de alimentación que comprende el gas que
- 20 contiene hidrocarburos por medio del intercambio de calor indirecto con un primer refrigerante mixto para formar una primera corriente de alimentación enfriada; (b) un primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación por lo menos parcialmente dispuesto dentro del primer sistema de refrigeración, donde el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación comprende el primer refrigerante mixto, donde
- 25 el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación no contiene un separador de fases; (c) un segundo sistema de refrigeración en comunicación fluida con el primer sistema de refrigeración, donde el segundo sistema de refrigeración

- comprende una segunda zona de enfriamiento allí dispuesta, donde la segunda zona de enfriamiento está configurada para enfriar la primera corriente de alimentación enfriada por medio del intercambio de calor indirecto con un segundo refrigerante mixto para formar una segunda corriente de alimentación enfriada; (d)
- 5 un segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación por lo menos parcialmente dispuesto dentro del segundo sistema de refrigeración, donde el segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación comprende el segundo refrigerante mixto, donde el segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación no contiene un separador de fases; (e) un turboexpansor en comunicación fluida
- 10 con el primer sistema de refrigeración o el segundo sistema de refrigeración, donde el turboexpansor está configurado para expandir la primera corriente de alimentación enfriada o la segunda corriente de alimentación enfriada para formar una corriente expandida; (f) un separador en comunicación fluida con el turboexpansor, donde el separador está configurado para separar la corriente
- 15 expandida en una fracción de vapor superior y una fracción inferior líquida; (g) un conducto para el retorno de por lo menos una porción de la fracción de vapor superior al primer sistema de refrigeración o el segundo sistema de refrigeración; y (h) un compresor por lo menos parcialmente accionado a partir del funcionamiento derivado del turboexpansor, donde el compresor está configurado
- 20 para por lo menos parcialmente comprimir el primer refrigerante mixto, el segundo refrigerante mixto, o la fracción de vapor superior.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS.

- Las formas de realización de la presente invención son descritas en la presente
- 25 solicitud con referencia a las siguientes figuras de dibujos, donde:
- la FIG. 1 representa un sistema refrigerante mixto de recirculación 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 recirculación dual que comprende un turboexpansor, separador de componentes pesados, y compresor
5 conectado 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 recirculación dual que comprende un turboexpansor y separador de componentes pesados conectado al primer sistema de refrigeración y un compresor conectado al primer ciclo de
10 refrigeración mixto de recirculación de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

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

la FIG. 5 representa un sistema refrigerante mixto de recirculación dual que comprende un turboexpansor, separador de componentes pesados y compresor conectado al segundo sistema de refrigeración de acuerdo con una forma de
20 realización de la presente invención;

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

la FIG. 7 representa un sistema refrigerante mixto de recirculación dual que comprende un turboexpansor y separador de componentes pesados conectado al

segundo sistema de refrigeración y un compresor conectado al segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

5 **DESCRIPCIÓN DETALLADA.**

La siguiente descripción detallada de las formas de realización de la invención hace referencia a los dibujos que acompañan. Las formas de realización tienen la intención de describir diversos aspectos de la invención en suficiente detalla para permitir a los expertos en la técnica la puesta en práctica de la invención. Otras
10 formas de realización pueden ser utilizadas, y pueden efectuarse cambios sin alejarse del alcance de las reivindicaciones. La siguiente descripción detallada, por lo tanto, no debe interpretarse en un sentido limitativo. El alcance de la presente invención es solo definido por las reivindicaciones anexas, junto con el alcance completo de equivalentes a los cuales dichas reivindicaciones tienen
15 derecho.

La presente invención se refiere generalmente a procesos y sistemas para la licuación de un gas que contiene hidrocarburos a fin de formar una corriente de GNL que comprende metano. Como se describe a continuación, estos procesos y sistemas pueden utilizar un sistema refrigerante mixto dual para asistir en la
20 licuación del metano de los gases que contienen hidrocarburos. Diversas formas de realización del sistema de refrigeración mixto dual se describen adicionalmente a continuación de acuerdo con las FIGS. 1–7.

Con referencia ahora a la FIG. 1, se proporciona una representación esquemática de una instalación de recuperación de GNL 10 configurada de acuerdo con una o
25 más formas de realización de la presente invención. La instalación de recuperación de GNL 10 puede ser operable para condensar y subenfriar una porción sustancial del metano en la corriente de alimentación de gas que contiene

hidrocarburos entrante, mediante el enfriamiento del gas con un primer sistema de refrigeración 12 y un segundo sistema de refrigeración 14. Detalles adicionales respecto de la configuración y operación de la instalación de recuperación de GNL 10, de acuerdo con diversas formas de realización de la presente invención, se describen a continuación con referencia a las FIGS. 1–7.

Como se muestra en la FIG. 1, una corriente de alimentación de gas que contiene hidrocarburos puede introducirse inicialmente en la instalación de GNL 10 por medio del conducto 110. El gas que contiene hidrocarburos puede ser cualquier corriente de fluido que contiene hidrocarburos adecuada, tal como una corriente de gas natural, una corriente de gas de síntesis, una corriente de gas craqueado, gas asociado de la producción de petróleo, o sus combinaciones. La corriente de gas que contiene hidrocarburos en el conducto 110 puede originarse a partir de una diversidad de fuentes de gas (no expuestas), que incluyen, sin limitación, una red de distribución de cañería de gas natural; un pozo de producción de hidrocarburos; una unidad de producción de gas no convencional; una unidad de procesamiento petroquímico; una unidad de procesamiento de lecho de hulla; una unidad de procesamiento de refinería, tal como un craqueador catalítico fluidizado (FCC, conforme a sus siglas en inglés) o coqueador de petróleo; o una unidad de procesamiento de petróleo pesado, tal como un mejorador de arenas petrolíferas.

De acuerdo con su fuente, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender diversas cantidades de metano, nitrógeno, hidrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, especies que contienen azufre y otros hidrocarburos. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender por lo menos 1, 5, 10, 15, o 25 y/o no más de 99, 95, 90, 80, 70, o 60 por ciento en moles de metano. Más en particular, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender un rango de 1 a 99, 5 a 95, 10 a 90, 15 a 80, o 25 a 70 por ciento en moles de

metano. Debe observarse que todos los porcentajes en moles son sobre la base del total de moles del gas que contiene hidrocarburos.

En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburos comprende escaso o nulo hidrógeno. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender menos de 10, 5, 1, o 0.5 por ciento en moles de hidrógeno.

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

En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender escaso o nulo nitrógeno. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender no más de 20, 10, 5, o 1 por ciento en moles de nitrógeno.

En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender escaso o nulo dióxido de carbono. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender no más de 20, 10, 5, o 1 por ciento en moles de dióxido de carbono.

En diversas formas de realización, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender escasos o nulos compuestos que contienen azufre, que incluyen cualquier compuesto que contiene azufre. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender no más de 20, 10, 5, o 1 por ciento en moles de compuestos que contienen azufre.

Adicionalmente, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender cierta cantidad de componentes C_2-C_5 , que incluyen sus isómeros parafínicos y olefínicos. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender menos de 30, 25, 15, 10, 5, o 2 por ciento en moles de componentes C_2-C_5 .

Adicionalmente, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender cierta cantidad de componentes C_{6+} , que incluyen compuestos a base de hidrocarburos que tienen una longitud de cadena de carbono de por lo menos 6 átomos de carbono, y sus isómeros parafínicos y olefínicos. Por ejemplo, el gas que contiene hidrocarburos puede comprender menos de 30, 25, 15, 10, 5, o 2 por ciento en moles de compuestos C_{6+} .

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

Como se muestra en la FIG. 1, el gas que contiene hidrocarburos en el conducto 110 puede inicialmente ser enviado a una zona de pretratamiento 16, donde pueden eliminarse uno o más constituyentes indeseables 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 expuestos) para la eliminación de componentes hidrocarburos o agua líquidos del gas de alimentación. Opcionalmente, la zona de pretratamiento 16 puede incluir una o más zonas de eliminación de gas (no expuestas), tales como, por ejemplo, una unidad de amina o un 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 pretratamiento 16 por medio del conducto 112 puede ser entonces enviada a una unidad de deshidratación 18, donde puede eliminarse sustancialmente la totalidad del agua residual 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 tamices moleculares. Una vez secada, la corriente de gas en el conducto 114

puede tener una temperatura de por lo menos 5, 10, o 15°C y/o no más de 50, 45, o 40 °C. Más en particular, la corriente de gas en el conducto 114 puede tener una temperatura en el rango de 5 a 50 °C, 10 a 45 °C, o 15 a 40°C. Adicional o alternativamente, la corriente de gas en el conducto 114 puede tener una presión de por lo menos 1.5, 2.5, 3.5, o 4.0 y/o no más de 9.0, 8.0, 7.5, o 7 MPa. Más en particular, 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, o 4.0 a 7.0 MPa.

Como se muestra en FIG. 1, la corriente de alimentación que contiene hidrocarburos en el conducto 114 puede ser introducida en un primer pase de enfriamiento 22 en la primera zona de enfriamiento 20 del primer sistema de refrigeración 12. Como se describe adicionalmente a continuación, el primer sistema de refrigeración 12 puede ser cualquier intercambiador de calor o serie de intercambiadores de calor operables para enfriar y por lo menos parcialmente condensar la corriente de gas de alimentación en el conducto 114 por medio 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 soldado en fuerte que comprende una pluralidad de pases de enfriamiento y entibiamiento (por ejemplo, núcleos) allí dispuestos para facilitar el intercambio de calor indirecto entre una o más corrientes de proceso y una o más corrientes refrigerantes.

La corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de enfriamiento 22 de la primera zona de enfriamiento 20 puede ser enfriada por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 24, que se describe a continuación en mayor detalle. De acuerdo con esta solicitud, el término “refrigerante mixto” se refiere a una composición de refrigerante que comprende dos o más constituyentes.

La corriente de gas en el conducto 116 puede entonces ser introducida en un segundo pase de enfriamiento 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 pase de enfriamiento 28 de la segunda zona de enfriamiento 26 puede enfriarse por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de enfriamiento de refrigerante 30, que se describe a continuación en mayor detalle. En ciertas formas de realización, por lo menos una porción del componente metano en la corriente de gas de alimentación puede condensarse de la fase de vapor durante el enfriamiento, a fin de proporcionar 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 metano en la corriente de gas de alimentación, y la resultante corriente de fluido en el conducto 118 será una corriente de vapor de fase única.

La corriente de gas en el conducto 118 puede entonces ser introducida en un tercer pase 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 pase de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 puede enfriarse por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de enfriamiento de refrigerante 36, que se describe a continuación en mayor detalle. En diversas formas de realización, por lo menos una porción del componente metano en la corriente de gas de alimentación puede condensarse de la fase de vapor a fin de proporcionar una corriente de fluido de dos fases enfriada en el conducto 120. En una o más formas de realización, por lo menos 5, 10, 25, 50, 60, 70, 80, o 90 por ciento de la cantidad total de metano introducida en el primer sistema de refrigeración 12 puede condensarse 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 metano en la corriente de gas de alimentación, y la resultante corriente de fluido en el conducto 120 será una corriente de vapor de fase única.

- 5 Como se muestra en la FIG. 1, la corriente de alimentación que contiene hidrocarburos en el conducto 120 puede entonces introducirse en un pase de enfriamiento 40 en la única zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Como se describe en más detalle a continuación, el segundo sistema de refrigeración 14 puede ser un intercambiador de calor operable para
10 condensar y subenfriar la corriente de gas de alimentación en el conducto 120 por medio 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 soldado en fuerte que comprende una pluralidad de pases de enfriamiento y entibiamiento (por ejemplo, núcleos) allí
15 dispuestos para facilitar el intercambio de calor indirecto entre una o más corrientes de proceso y una o más corrientes refrigerantes.

Si bien 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
20 arriba mencionadas zonas de enfriamiento (20, 26, 32 y 38) pueden estar conectadas en serie en un solo núcleo dentro de este intercambiador de calor. Adicionalmente, si bien las FIGS. 1–7 representan conductos físicos entre las zonas de enfriamiento (20, 26, 32 y 38), el experto en la técnica apreciará sin dificultad que podría haber formas de realización donde no existen conductos
25 físicos entre las zonas de enfriamiento (20, 26, 32 y 38), en especial, en las formas de realización donde las zonas de enfriamiento (20, 26, 32 y 38) están conectadas en serie.

La corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 puede ser condensada y subenfriada por medio del intercambio de calor indirecto con el segundo refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 42, que se describe
5 a continuación en mayor detalle.

Al salir del segundo sistema de refrigeración 14, la corriente de alimentación enfriada en el conducto 122 puede ser entonces expandida por medio del pasaje a través de un dispositivo de expansión 44, donde puede reducirse la presión de la corriente. El dispositivo de expansión 44 puede comprender cualquier
10 dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. Si bien en la FIG. 1 se ilustra de modo de comprender un único dispositivo 44, debe entenderse que pueden emplearse cualquier número adecuado de dispositivos de expansión. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser una expansión sustancialmente isentálpica o
15 una expansión isentrópica. De acuerdo con esta solicitud, el término “sustancialmente isentálpica” se refiere a una expansión o etapa de evaporación instantánea llevada a cabo de modo tal que menos de 1 por ciento del trabajo total generado durante la expansión es transferido desde el fluido hasta el entorno circundante. De acuerdo con esta solicitud, la expansión “isentrópica” se refiere a
20 una expansión o etapa de evaporación instantánea en la cual una mayoría o sustancialmente la totalidad del trabajo generado durante la expansión es transferido al entorno circundante.

La corriente expandida en el conducto 124 puede ser regulada por la válvula 46. La corriente enfriada que sale de la válvula 46 por medio del conducto 126 puede
25 ser un producto enriquecido en GNL. De acuerdo con esta solicitud, “enriquecido en GNL” significa que la composición particular comprende por lo menos 50 por ciento en moles de metano. El producto enriquecido en GNL en el conducto 126

puede tener una temperatura inferior a -120 , -130 , -140 , o -145 °C y/o superior a -195 , -190 , -180 , o -165 °C. Más en particular, el producto enriquecido en GNL en el conducto 126 puede tener una temperatura en el rango de -120 a -195 °C, -130 a -190 °C, -140 a -180 °C, o -145 a -165 °C.

- 5 Nuevamente con referencia a la FIG. 1, el primer sistema de refrigeración 12 y el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación se describen ahora a continuación en mayor detalle. Como se muestra en la FIG. 1, el primer sistema de refrigeración 12 contiene tres zonas de enfriamiento (20, 26 y 32), donde el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación está por lo menos parcialmente
10 allí dispuesto.

El primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación comprende el primer refrigerante mixto y se representa en la FIG. 1 de la siguiente manera. Al salir del pase de entibiamiento de refrigerante 24 en la primera zona de enfriamiento 20, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 es transferido a un sistema
15 compresor 48 que comprende una primera etapa de compresor 54, una segunda etapa de compresor 52 y una tercera etapa de compresor 50.

En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede encontrarse a una presión de por lo menos 1.5, 2.0, o 2.7 MPa y/o no más de 5.0, 4.0, o 3.5 MPa. Más en particular, el primer refrigerante
20 mixto gaseoso en el conducto 128 puede encontrarse a una presión en el rango de 1.5 a 5.0 MPa, 2.0 a 4.0 MPa, o 2.7 a 3.5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede encontrarse a una temperatura inferior a 50, 35, o 25 °C y/o superior a -40 , -30 , o -20 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede
25 encontrarse a una temperatura en el rango de -40 a 50 °C, -30 a 35 °C, o -20 a 25 °C.

Si bien en la FIG. 1 se representa de modo de contener solo tres etapas, el experto en la técnica apreciará sin dificultad que el compresor 48 podría modificarse de modo de incluir más o menos etapas según lo necesario. En diversas formas de realización, el sistema compresor 48 puede comprender un compresor axial, un compresor centrífugo, compresor recíproco, compresor de rosca, o una de sus combinaciones. Además, el sistema compresor 48 puede ser accionado por una turbina de vapor de agua, turbina de gas, un motor eléctrico, o sus combinaciones.

En diversas formas de realización, el refrigerante puede gotear a través de los sellos del compresor 48. En dichas formas de realización, en lugar de ventear el refrigerante perdido, puede utilizarse un proceso de recuperación de gas de sello que recupera por lo menos una porción del refrigerante y lo retorna a la recirculación de refrigeración. Un proceso de recuperación de gas de sello se describe en la Patente de los Estados Unidos Nro. 8.066.023, incorporada en la presente solicitud por referencia en su totalidad. Por ejemplo, el compresor 48 puede estar equipado con un instrumento de Venturi (no expuesto) para retener cualquier gas de sello que escape del compresor.

El primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 128 puede introducirse en la tercera etapa de compresor 50. En diversas formas de realización, la tercera etapa de compresor 50 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso hasta una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 MPa y/o no más de 8.0, 7.0, o 6.3 MPa. Más en particular, la tercera etapa de compresor 50 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso hasta una presión en el rango de 2.5 a 8.0 MPa, 4.0 a 7.0 MPa, o 4.8 a 6.3 MPa.

El primer refrigerante mixto comprimido es transferido por medio del conducto 130 al enfriador de descarga 56, donde la corriente puede enfriarse hasta un acercamiento a las temperaturas ambientales, y puede condensarse por completo

por medio del intercambio de calor indirecto con un medio de enfriamiento externo (por ejemplo, aire o agua de enfriamiento). De acuerdo con esta solicitud, “completamente condensado/a” 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, o 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 descarga del enfriador.

Al salir del enfriador de descarga 56 por medio del conducto 132, el primer refrigerante mixto completamente condensado es introducido en el pase de enfriamiento 58 en la primera zona de enfriamiento 20. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 132 puede estar a una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 MPa y/o no más de 8.0, 7.0, o 6.3 MPa. Más en particular, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 132 puede encontrarse a una presión en el rango de 2.5 a 8.0 MPa, 4.0 a 7.0 MPa, o 4.8 a 6.3 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 132 puede encontrarse cerca de las temperaturas ambientales.

En el pase de enfriamiento 58, el primer refrigerante mixto completamente condensado puede ser subenfriado por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 24, que se describe en más detalle a continuación.

Al salir del pase de enfriamiento 58 por medio del conducto 134, por lo menos una porción de la corriente puede ser enviada por medio del conducto 136 al dispositivo de expansión 60, donde la presión de la corriente puede reducirse, de modo de enfriar, y en algunas formas de realización, por lo menos parcialmente vaporizar la corriente refrigerante. El dispositivo de expansión 60 puede

comprender cualquier dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. Si bien se ilustra en la FIG. 1 de modo de comprender un solo dispositivo 60, debe entenderse que pueden emplearse cualquier número adecuado de dispositivos de expansión. En
5 ciertas formas de realización, la expansión puede ser una expansión sustancialmente isentálpica o expansión isentrópica.

Antes de la expansión, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 136 puede encontrarse a una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 MPa y/o no más de 8.0, 7.0, o 6.3 MPa. Más en particular, el primer refrigerante
10 mixto completamente condensado en el conducto 136 puede encontrarse a una presión en el rango de 2.5 a 8.0, 4.0 a 7.0, o 4.8 a 6.3 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 136 puede encontrarse a una temperatura inferior a 30, 25, o 15 °C y/o superior a –40, –30, o –5°C. Más en particular, el primer refrigerante mixto
15 completamente condensado en el conducto 136 puede encontrarse a una temperatura en el rango de –40 a 30 °C, –30 a 25 °C, o –5 a 15 °C.

En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado no se somete a la separación de fases antes o después de la etapa de expansión. De acuerdo con esta solicitud, la “separación de fases” involucra la
20 separación de una corriente de dos fases, que generalmente contiene fases de líquido y vapor, en sus respectivas fases.

El primer refrigerante mixto expandido es introducido en el pase de entibiamiento de refrigerante 24 por medio del conducto 138, donde el primer refrigerante mixto expandido puede ser vaporizado a fin de proporcionar refrigeración a la primera
25 zona de enfriamiento 20.

En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede comprender menos de 5, 3, 1, 0.5, o 0.1 por ciento en moles

de una fase de vapor. Adicionalmente, en ciertas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede encontrarse a una presión de por lo menos 1.5, 2.0, o 2.7 MPa y/o no más de 5.0, 4.0, o 3.5 MPa. Más en particular, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede encontrarse a una presión en el rango de 1.5 a 5.0 MPa, 2.0 a 4.0 MPa, o 2.7 a 3.5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede encontrarse a una temperatura inferior a 30, 25, o 15 °C y/o superior a -40, -30, o -5 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 138 puede encontrarse a una temperatura en el rango de -40 a 30 °C, -30 a 25 °C, o -5 a 15 °C.

El primer refrigerante mixto gaseoso vaporizado sale del pase de entibiamiento de refrigerante 24 por medio del conducto 128 como se describe con anterioridad.

Con referencia nuevamente a la FIG. 1, por lo menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 134 se dirige al pase de enfriamiento 62 en la segunda zona de enfriamiento 26. En el pase de enfriamiento 62, el primer refrigerante mixto completamente condensado puede ser adicionalmente subenfriado por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 30, que se describe en más detalle a continuación.

Al salir del pase de enfriamiento 62 por medio del conducto 140, por lo menos una porción de la corriente puede ser enviada por medio del conducto 142 al dispositivo de expansión 64, donde la presión de la corriente puede reducirse, de modo de enfriar, y, en algunas formas de realización, por lo menos parcialmente vaporizar la corriente 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. Si bien se ilustra en FIG. 1 de manera de comprender un solo dispositivo 64, debe entenderse que pueden

emplearse cualquier número adecuado de dispositivos de expansión. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser una expansión sustancialmente isentálpica o expansión isentrópica. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado no se somete a la 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 encontrarse a una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 MPa y/o no más de 8.0, 7.0, o 6.3 MPa. Más en particular, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 142 puede encontrarse a una presión en el rango de 2.5 a 8.0, 4.0 a 7.0, o 4.8 a 6.3 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 142 puede encontrarse a una temperatura inferior a 0, -10, o -25 °C y/o superior a -100, -75, o -50 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 142 puede encontrarse a una temperatura en el rango de -100 a 0 °C, -75 a -10 °C, o -50 a -25 °C.

El primer refrigerante mixto expandido es introducido en el pase de entibiamiento de refrigerante 30 por medio del conducto 144, donde el primer refrigerante mixto expandido es vaporizado a fin de proporcionar refrigeración a la segunda zona de enfriamiento 26. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede comprender menos de 5, 4, 3, 2, 1, o 0.1 por ciento en moles de una fase de vapor. Adicionalmente, en ciertas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede encontrarse a una presión de por lo menos 0.3, 0.5, o 0.65 MPa y/o no más de 2.0, 1.7, o 1.4 MPa. Más en particular, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede encontrarse a una presión en el rango de 0.3 a 2.0 MPa, 0.5 a 1.7 MPa, o 0.65 a 1.4 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede encontrarse a una temperatura inferior

a 0, -10, o -25 °C y/o superior a -100, -75, o -50 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 144 puede encontrarse a una temperatura en el rango de -100 a 0 °C, -75 a -10 °C, o -50 a -25 °C.

El primer refrigerante mixto gaseoso vaporizado sale del pase de entibiamiento de refrigerante 30 por medio del conducto 146 y puede introducirse en la segunda etapa del compresor 52. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede encontrarse a una presión de por lo menos 0.3, 0.5, o 0.65 MPa y/o no más de 2.0, 1.7, o 1.4 MPa. Más en particular, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede encontrarse a una presión en el rango de 0.3 a 2.0 MPa, 0.5 a 1.7 MPa, o 0.65 a 1.4 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede encontrarse a una temperatura inferior a 30, 25, o 15 °C y/o superior a -40, -30, o -5 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 146 puede encontrarse a una temperatura en el rango de -40 a 30 °C, -30 a 25 °C, o -5 a 15 °C.

En diversas formas de realización, la segunda etapa de compresor 52 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso hasta una presión de por lo menos 1.5, 2.0 o 2.7 MPa y/o no más de 5.0, 4.0, o 3.5 MPa. Más en particular, la segunda etapa de compresor 52 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso hasta una presión en el rango de 1.5 a 5.0 MPa, 2.0 a 4.0 MPa, o 2.7 a 3.5 MPa.

El primer refrigerante mixto comprimido de la segunda etapa del compresor 52 es transferido por medio del conducto 148 al enfriador de interetapa 66, donde la corriente puede enfriarse por medio del intercambio de calor indirecto con un medio de enfriamiento externo (por ejemplo, aire o agua de enfriamiento). Al salir del enfriador de interetapa 66 por medio del conducto 150, la corriente comprimida en el conducto 150 puede introducirse en el conducto 128, donde

puede dirigirse a la compresión adicional en la tercera etapa de compresor 50 como se describe con anterioridad.

Con referencia nuevamente a la FIG. 1, por lo menos una porción del primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 140 se dirige al
 5 pase de enfriamiento 68 en la tercera zona de enfriamiento 32. En el pase de enfriamiento 68, el primer refrigerante mixto completamente condensado puede ser adicionalmente subenfriado por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 36, que se describe en más detalle a continuación.

10 Al salir del pase de enfriamiento 68 por medio del conducto 152, la corriente enfriada puede ser enviada al dispositivo de expansión 70, donde la presión de la corriente puede reducirse, de modo de enfriar y por lo menos parcialmente vaporizar la corriente refrigerante. El dispositivo de expansión 70 puede comprender cualquier dispositivo de expansión adecuado, tal como, por ejemplo,
 15 una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. Si bien se ilustra en la FIG. 1 de manera de comprender un solo dispositivo 70, debe entenderse que pueden emplearse cualquier número adecuado de dispositivos de expansión. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser una expansión sustancialmente isentálpica o expansión isentrópica. En diversas formas de
 20 realización, el primer refrigerante mixto completamente condensado no se somete a la 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 encontrarse a una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 MPa y/o no más de 8.0, 7.0, o 6.3 MPa. Más en particular, el primer refrigerante
 25 mixto completamente condensado en el conducto 152 puede encontrarse a una presión en el rango de 2.5 a 8.0, 4.0 a 7.0, o 4.8 a 6.3 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el

conducto 152 puede encontrarse a una temperatura inferior a -20 , -40 , o -60 °C y/o superior a -120 , -90 , o -75 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 152 puede encontrarse 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 es introducido en el pase de entibiamiento de refrigerante 36 por medio del conducto 154, donde el primer refrigerante mixto expandido es vaporizado a fin de proporcionar refrigeración a 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, o 0.5 por ciento en moles de una fase de vapor. Adicionalmente, en ciertas formas de realización, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 154 puede encontrarse a una presión de por lo menos 0.1, 0.15, o 0.2 MPa y/o no más de 2.0, 1.5, o 0.5 MPa. Más en particular, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 154 puede encontrarse a una presión en el rango de 0.1 a 2.0 MPa, 0.15 a 1.5 MPa, o 0.2 a 0.5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 154 puede encontrarse a una temperatura inferior a -20 , -40 , o -60 °C y/o superior a -120 , -90 , o -75 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto expandido en el conducto 154 puede encontrarse a una temperatura en el rango de -120 a -20 °C, -90 a -40 °C, o -75 a -60 °C.

El primer refrigerante mixto gaseoso vaporizado sale del pase de entibiamiento de refrigerante 36 por medio del conducto 156 y puede introducirse en la primera etapa del compresor 54. En diversas formas de realización, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 156 puede encontrarse a una presión de por lo menos 0.1, 0.15, o 0.2 MPa y/o no más de 2.0, 1.5, o 0.5 MPa. Más en particular, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 156 puede encontrarse a una

presión en el rango de 0.1 a 2.0 MPa, 0.15 a 1.5 MPa, o 0.2 a 0.5 MPa. Adicional o alternativamente, el primer refrigerante mixto gaseoso en el conducto 156 puede encontrarse a una temperatura inferior a 0, -10, o -25 °C y/o superior a -100, -75, o -50 °C. Más en particular, el primer refrigerante mixto gaseoso en el

5 conducto 156 puede encontrarse 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 de compresor 54 por medio del conducto 158, la corriente comprimida en el conducto 158 puede introducirse en el conducto 146, donde puede dirigirse a la compresión adicional en la segunda etapa de

10 compresor 52 y la tercera etapa de compresor 50 como se describe con anterioridad. En diversas formas de realización, la primera etapa de compresor 54 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso hasta una presión de por lo menos 0.3, 0.5, o 0.65 MPa y/o no más de 2.0, 1.7, o 1.4 MPa. Más en particular,

15 la primera etapa de compresor 54 puede comprimir el primer refrigerante mixto gaseoso hasta una presión en el rango de 0.3 a 2.0 MPa, 0.5 a 1.7 MPa, o 0.65 a 1.4 MPa.

En diversas formas de realización, y como se representa en la FIG. 1, el primer sistema de refrigeración 12 y el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación no contienen un separador de fases. De acuerdo con esta solicitud, se entiende

20 que un “separador de fases” contempla cualquier dispositivo diseñado para exclusivamente separar una corriente parcialmente condensada en fracciones de líquido y vapor. En consecuencia, esto no incluirá, por ejemplo, tambores de succión y torres piezométricas.

En ciertas formas de realización, los conductos 136, 138, 142, 144, 152, y 154 en

25 la FIG. 1, cuando están físicamente presentes, pueden ubicarse 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 podrían ubicarse fuera del

intercambiador de calor o de los intercambiadores de calor que contienen 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 sus combinaciones. En algunas formas de realización, el primer refrigerante mixto puede comprender por lo 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 ebullición entre 2.5 y 5.65 MPa a temperaturas aproximadamente ambientales.

En algunas formas de realización de la presente invención, puede ser deseable ajustar la composición del primer refrigerante mixto a fin de alterar su curva de enfriamiento, y por lo tanto, su potencial de refrigeración. Dicha modificación puede utilizarse para acomodar, por ejemplo, cambios en la composición y/o el caudal de la corriente de gas de alimentación introducida en la instalación de recuperación de GNL. En una forma de realización, la composición del primer refrigerante mixto puede ajustarse de modo tal 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 refrigerante de entibiamiento. Un método para dicha coincidencia de curvas se describe en detalle en la Patente de los Estados Unidos Nro. 4.033.735, cuya divulgación se incorpora en esta solicitud por referencia en su totalidad.

Con referencia una vez más a la FIG. 1, el segundo sistema de refrigeración 14 y el segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación se describen ahora en mayor detalle. Como se muestra en la FIG. 1, el segundo sistema de refrigeración 14 contiene una única zona de enfriamiento 38, donde el segundo ciclo de

refrigeración mixto de recirculación está por lo menos parcialmente allí dispuesto. De acuerdo con esta solicitud, una “única zona de enfriamiento” significa que el sistema comprende solo una zona donde la corriente de alimentación es enfriada por medio del intercambio de calor indirecto con un único enfriante. En dichas

5 formas de realización, el sistema identificado no contendrá ninguna otra zona de enfriamiento. En ciertas formas de realización, el único enfriante 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 única zona de enfriamiento.

10

El segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación comprende el segundo refrigerante mixto y es representado en la FIG. 1 de la siguiente manera. Al salir del pase de entibiamiento de refrigerante 42 en la zona de enfriamiento 38, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 es transferido a un

15 sistema compresor 72 que comprende una primera etapa de compresor 74 y una segunda etapa de compresor 76. En diversas formas de realización, el compresor 72 puede estar configurado para recuperar gas de sello como se describe previamente con respecto al compresor 48. Por lo tanto, en ciertas formas de realización, el compresor 72 puede contener un instrumento Venturi (no expuesto)

20 diseñado para retener gas de sello que escapa 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, o 0.2 MPa y/o no más de 2.0, 1.5, o 0.5 MPa. Más en particular, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 puede encontrarse a una presión en el rango de 0.1

25 a 2.0 MPa, 0.15 a 1.5 MPa, o 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 , -40 , o -60 °C y/o superior a -120 , -90 , o -75 °C. Más

en particular, el segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 puede encontrarse a una temperatura en el rango de -120 a -20 °C, -90 a -40 °C, o -75 a -60 °C.

Si bien se representa de modo de contener solo dos etapas en la FIG. 1, el experto en la técnica apreciará sin dificultad que el compresor 72 podría ser modificado de manera de incluir una o más etapas según lo necesario. En diversas formas de realización, el sistema compresor 72 puede comprender un compresor axial, un compresor centrífugo, un compresor recíproco, un compresor de rosca, o una de sus combinaciones. Adicionalmente, el sistema compresor 72 puede ser accionado por una turbina de vapor de agua, turbina de gas, un motor eléctrico, o sus combinaciones.

El segundo refrigerante mixto gaseoso en el conducto 160 es introducido en la primera etapa de compresor 74 y luego es transferido por medio del conducto 162 al enfriador de interetapa 78, donde la corriente puede enfriarse para aproximarse a la temperatura ambiente por medio del intercambio de calor indirecto con un medio de enfriamiento externo (por ejemplo, aire o agua de enfriamiento). En diversas formas de realización, la primera etapa de compresor 74 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso hasta una presión de por lo menos 0.3, 0.5, o 0.65 MPa y/o no más de 3.0, 2.5, o 2.0 MPa. Más en particular, la primera etapa de compresor 74 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso hasta una presión en el rango de 0.3 a 3.0 MPa, 0.5 a 2.5 MPa, o 0.65 a 2.0 MPa.

El segundo refrigerante mixto enfriado puede entonces introducirse en la segunda etapa de compresor 76 por medio del conducto 164, donde el segundo refrigerante mixto es adicionalmente comprimido. En diversas formas de realización, la segunda etapa de compresor 76 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso hasta una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 y/o

no más de 8.0, 7.0, o 6.0 MPa. Más en particular, la segunda etapa de compresor 76 puede comprimir el segundo refrigerante mixto gaseoso hasta una presión en el rango de 2.5 a 8.0 MPa, 4.0 a 7.0 MPa, o 4.8 a 6.0 MPa.

El segundo refrigerante mixto comprimido es luego introducido en el enfriador de
5 descarga 80 por medio del conducto 166, donde la corriente puede ser adicionalmente enfriada hasta aproximarse a la temperatura ambiente por medio del intercambio de calor indirecto con un medio de enfriamiento externo (por ejemplo, aire o agua de enfriamiento).

El segundo refrigerante mixto comprimido en el conducto 168 es luego introducido
10 en el pase 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 puede encontrarse a una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 MPa y/o no más de 8.0, 7.0, o 6.0 MPa. Más en particular, el segundo refrigerante mixto comprimido en el conducto 168
15 puede encontrarse a una presión en el rango de 2.5 a 8.0 MPa, 4.0 a 7.0 MPa, o 4.8 A 6.0 MPa. Adicional o alternativamente, el segundo refrigerante mixto comprimido en el conducto 168 puede encontrarse a temperaturas ambientales o aproximadas.

En el pase de enfriamiento 82, el segundo refrigerante mixto puede ser
20 adicionalmente enfriado por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 24. Mientras se encuentra en el pase de enfriamiento 82, el segundo refrigerante mixto puede enfriarse hasta una temperatura inferior al punto de rocío de la mezcla refrigerante.

25 El segundo refrigerante mixto enfriado en el conducto 170 luego se introduce en el pase de enfriamiento 84 en la segunda zona de enfriamiento 26 del primer sistema de refrigeración 12. En el pase de enfriamiento 84, el segundo

refrigerante mixto puede ser adicionalmente enfriado por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 30. Mientras se encuentra en el pase de enfriamiento 84, el segundo refrigerante mixto puede enfriarse hasta una temperatura inferior al punto de rocío de la mezcla refrigerante.

El segundo refrigerante mixto enfriado en el conducto 172 luego se introduce en el pase de enfriamiento 86 en la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12. En el pase de enfriamiento 86, el segundo refrigerante mixto puede ser adicionalmente enfriado por medio del intercambio de calor indirecto con el primer refrigerante mixto en el pase de entibiamiento de refrigerante 36. Mientras se encuentra en el pase de enfriamiento 86, el segundo refrigerante mixto puede enfriarse hasta una temperatura inferior al punto de ebullición de la mezcla refrigerante.

Al salir del primer sistema de refrigeración 12 por medio del conducto 174, el segundo refrigerante mixto en el conducto 174 es completamente condensado. El segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 174 puede entonces introducirse en el pase de enfriamiento 88 en la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14.

Al salir del pase de enfriamiento 88 por medio del conducto 176, la corriente de segundo refrigerante mixto subenfriada puede enviarse al dispositivo de expansión 90, donde la presión de la corriente puede reducirse, de modo de enfriar y vaporizar la corriente refrigerante. Antes de la expansión, el segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 puede encontrarse a una presión de por lo menos 2.5, 4.0, o 4.8 MPa y/o no más de 8.0, 7.0, o 6.0 MPa. Más en particular, el segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 puede encontrarse a una presión en el rango de 2.5 a 8.0, 4.0 a 7.0, o 4.8 a 6.0 MPa. Adicional o alternativamente, el segundo

refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 puede encontrarse a una temperatura inferior a -120 , -130 , -140 , o -145 °C y/o superior a -195 , -190 , -180 , o -165 °C. Más en particular, el segundo refrigerante mixto completamente condensado en el conducto 176 puede encontrarse a una

5 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, tales como, por ejemplo, una válvula de Joule–Thomson o una turbina hidráulica. Si bien se ilustra en FIG. 1 de manera de comprender un

10 único dispositivo 90, debe entenderse que pueden emplearse cualquier número adecuado de dispositivos de expansión. En ciertas formas de realización, la expansión puede ser una expansión sustancialmente isentálpica o expansión isentrópica.

La corriente expandida en el conducto 178 puede ser regulada por la válvula 92.

15 En diversas formas de realización, la corriente expandida en el conducto 178 puede comprender menos de 15, 10, 8, 6, 2, o 1 por ciento en moles de una fase de vapor. Adicionalmente, en ciertas formas de realización, la corriente expandida en el conducto 178 puede encontrarse a una presión de por lo menos 0.3, 0.5, o 0.65 MPa y/o no más de 3.0, 2.0, o 1.4 MPa. Más en particular, la corriente

20 expandida en el conducto 178 puede encontrarse a una presión en el rango de 0.3 a 3.0 MPa, 0.5 a 2.0 MPa, o 0.65 a 1.4 MPa. Adicional o alternativamente, la corriente expandida en el conducto 178 puede encontrarse a una temperatura inferior a -120 , -130 , -140 , o -145 °C y/o superior a -195 , -190 , -180 , o -165 °C. Más en particular, la corriente expandida en el conducto

25 178 puede encontrarse 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 segundo refrigerante mixto expandido en el conducto 180 luego se introduce en el pase de entibiamiento de refrigerante 42, donde el segundo refrigerante mixto expandido es vaporizado a 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 de 15, 10, 8, 6, o 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 introducirse a una presión en el rango de 0.1, 0.15, o 0.2 MPa y/o no más de 2.0, 1.5, o 0.5 MPa. Más en particular, el segundo refrigerante mixto expandido en el conducto 180 puede introducirse a una presión en el rango de 0.1 a 2.0 MPa, 0.15 a 1.5 MPa, o 0.2 a 0.5 MPa.

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

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

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

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 sus combinaciones. En algunas formas de realización, el segundo refrigerante mixto puede comprender por lo menos dos compuestos seleccionados del grupo que

consiste en nitrógeno e hidrocarburos que contienen de 1 a 3 átomos de carbono. En diversas formas de realización, el segundo refrigerante mixto tendrá una temperatura de punto de ebullición que es inferior a la temperatura de punto de ebullición del primer refrigerante mixto a una presión determinada. En ciertas

5 formas de realización, el segundo refrigerante mixto puede tener una presión de punto de ebullición entre 2.5 y 6.1 MPa a temperaturas entre -60 y -75 °C.

En algunas formas de realización de la presente invención, puede ser deseable ajustar la composición del segundo refrigerante mixto a fin de alterar su curva de enfriamiento, y por lo tanto, su potencial de refrigeración. Dicha modificación

10 puede utilizarse para acomodar, por ejemplo, cambios en la composición y/o el 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 puede ajustarse de modo tal que la curva de calentamiento del refrigerante de vaporización coincide más estrechamente con la

15 curva de enfriamiento de la corriente de gas de alimentación y refrigerante de entibiamiento.

Debe observarse que los conductos representados entre las zonas de enfriamiento (20, 26, 32 y 38) en la FIG. 1 se exponen solo con propósitos ilustrativos, y en ciertas formas de realización, un conducto físico puede no

20 presentarse donde se muestra cada conducto en la FIG. 1.

Si bien la FIG. 1 representa una forma de realización de los presentes procesos y sistemas, se contemplan otras formas de realización, tales como aquellas representadas en las FIGS. 2–7, que pueden incorporar un turboexpansor 94, un compresor 96 funcionalmente conectado al turboexpansor 94, y un separador de

25 componentes pesados 98. Debe observarse que los componentes comunes del sistema hallados en las FIGS. 1–7 están marcados consecuentemente usando los mismos números. Por ejemplo, el primer sistema de refrigeración 12 y la segunda

refrigeración 14 están ambos etiquetados uniformemente a lo largo de las FIGS. 1–7. Adicionalmente, se espera que los componentes del sistema en las FIGS. 1–7 funcionen de la misma o sustancialmente la misma manera, a menos que se observe lo contrario. La única diferencia de etiquetado entre las FIGS. 1–7 es que los conductos allí 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 en todas ellas (es decir, transfiriendo su respectiva corriente), a menos que se observe lo contrario.

En la FIG. 2, se representa una instalación de recuperación de GNL que contiene un turboexpansor 94 funcionalmente conectado por medio 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 Nro. 6.367.286, que se incorpora en esta solicitud por referencia en su totalidad.

Como se muestra en la FIG. 2, por lo menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 puede dirigirse por medio del conducto 220 al turboexpansor 94, donde puede expandirse en una corriente de dos fases. Como consecuencia de la expansión, la temperatura de la corriente de fluido evaporada instantáneamente o expandida en el conducto 222 puede ser por lo menos 2, 5, o 10°C y/o no más de 50, 40, o 30°C inferior a la temperatura de la corriente en el conducto 220. Adicionalmente, la presión de la corriente de fluido evaporada instantáneamente o expandida en el conducto 222 puede ser por lo menos 0.1, 0.2, o 0.3 y/o no más de 5.0, 4.0, o 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. Si bien no representado en la FIG. 2, un tambor de succión puede estar en comunicación fluida entre el turboexpansor 94 y la tercera zona de enfriamiento 32, en ciertas formas de realización.

Adicionalmente, el turboexpansor 94 es conectado a un compresor 96 por medio del eje 95. El compresor 96 puede ser por lo menos parcialmente accionado a partir del trabajo derivado del turboexpansor 94. Como se describe a continuación, el compresor 96 está configurado para por lo menos parcialmente comprimir la fracción superior que proviene del separador 98. En diversas formas de realización, el compresor 96 puede comprender un compresor axial, un compresor centrífugo, un compresor recíproco, un compresor de rosca, o una de sus combinaciones. Adicionalmente, el compresor 96 puede ser accionado por una turbina de vapor de agua, una turbina de gas, un motor eléctrico o sus combinaciones.

En diversas formas de realización, el compresor 96 puede estar configurado para recuperar gas de sello, como se describe anteriormente con respecto al compresor 48. Por lo tanto, en ciertas formas de realización, el compresor 96 puede contener un instrumento de Venturi (no expuesto) diseñado para retener gas de sello que escapa fuera del compresor.

Como se muestra en 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 de líquido que es deficiente en metano (conducto 224) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 226). De acuerdo con esta solicitud, “deficiente en metano” y “rica en metano” se refieren al contenido de metano de los componentes separados en relación con el contenido de metano del componente original del cual derivan los componentes separados. Por lo tanto, un componente rico en metano contiene un mayor porcentaje en moles de metano, que el componente del cual deriva, mientras que un componente

- deficiente en metano contiene un menor porcentaje en moles de metano que el componente del cual deriva. En el presente caso, la corriente inferior deficiente en metano contiene un menor porcentaje en moles de metano, en comparación con la corriente del conducto 222, mientras que la corriente superior rica en metano
- 5 contiene un más alto porcentaje en moles de metano en comparación con la corriente del conducto 222. Las cantidades de la corriente inferior deficiente en metano y la corriente superior rica en metano pueden variar de acuerdo con los contenidos del gas que contiene hidrocarburos y las condiciones de operación del recipiente de separación 98.
- 10 La corriente inferior deficiente en metano en el conducto 224 puede presentarse en la forma de un líquido, y puede contener la mayoría de los compuestos con seis o más átomos de carbono originalmente hallados en la corriente en el conducto 222. Por ejemplo, la corriente inferior deficiente en metano en el conducto 224 puede comprender por lo menos 70, 80, 90, 95, o 99 por ciento de
- 15 los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono originalmente presentes en la corriente del 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 por lo menos
- 20 alrededor de 10, 25, 40, o 50 y/o no más de alrededor de 99.9, 99, 95 u 85 por ciento en moles de metano. Más en particular, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 226 puede comprender un rango de alrededor de 10 a 99.9, 25 a 99, 40 a 95, o 50 a 85 por ciento en moles de metano. Adicionalmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 226 puede
- 25 comprender por lo menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99, o 99.9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente del conducto 222.

- El recipiente de separación 98 puede ser cualquier recipiente de separación de vapor-líquido adecuado, y puede tener cualquier número de etapas de separación reales o teóricas. En una o más formas de realización, el recipiente de separación 98 puede comprender una única etapa de separación, mientras que en otras
- 5 formas de realización, el recipiente de separación 98 puede incluir 2 a 10, 4 a 20, o 6 a 30 etapas de separación reales o teóricas. Cuando el recipiente de separación 98 es un recipiente de separación de múltiples etapas, puede usarse cualquier tipo adecuado de elementos internos de columna, tales como eliminadores de neblina, almohadillas de malla, bandejas de contacto de vapor-
- 10 líquido, empaque aleatorio, y/o empaque estructurado, a fin de 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 de una sola etapa, pueden emplearse pocos o ningún elemento interno de columna.
- 15 En diversas formas de realización, el recipiente de separación 98 puede operar a una presión de por lo menos 1.5, 2.5, 3.5, o 4.5 y/o 9.0, 8.0, 7.0, o 6.0 MPa. Más en particular, 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, o 4.5 a 6.0 MPa.
- Como apreciará sin dificultad el experto en la técnica, la temperatura en el
- 20 recipiente de separación 98 puede variar de acuerdo con los contenidos del gas que contiene hidrocarburos introducido en el sistema, y del resultado deseado. En diversas formas de realización, el recipiente de separación 98 puede operar a una temperatura inferior a 5, 10, o 15 °C y/o superior a -195, -185, -175, o -160°C. Más en particular, el recipiente de separación 98 puede operar a una temperatura
- 25 en el rango de 15 a -195 °C, 10 a -185 °C, 5 a -175 °C, o 5 a -160 °C.
- Como se muestra en FIG. 2, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 226 puede ser dirigida al compresor 96, que comprime la corriente. La

corriente comprimida en el conducto 228 es entonces reintroducida en el pase de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 a fin de ser enfriada y condensada como se describe con anterioridad con respecto a la FIG. 1.

Debe observarse que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los 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 recirculación (los conductos 270, 272, 274, 276, 278, 280, 282, 284, 286, 288 y 290) representados en la FIG. 2, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 2, funcionan de la misma manera que la descrita con anterioridad con referencia a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 2 se han etiquetado de diferente manera a fin de representar la forma de realización del sistema particular de la FIG. 2. Adicionalmente, las etapas restantes involucradas en la licuación del gas que contiene hidrocarburos no dirigidas anteriormente con respecto a la FIG. 2 (los conductos 210, 212, 214, 216, 218, 230, 232, 234 y 236) funcionan de la misma o similar manera que la descrita previamente con respecto a la FIG. 1.

En la FIG. 3, se representa una instalación de recuperación de GNL 10 que contiene un turboexpansor 94 funcionalmente conectado por medio del conducto 320 a la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12. Como se muestra en FIG. 3, por lo menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 puede ser dirigida por medio del conducto 320 al turboexpansor 94, donde puede ser expandida en una corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar en las mismas o similares condiciones que las previamente descritas con respecto a la FIG. 2. Si bien no representado en la FIG. 3, un tambor de succión puede estar en

comunicación fluida 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 322 es entonces dirigida a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada de líquido que es deficiente 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 que el previamente descrito con respecto a la FIG. 2, y puede funcionar en condiciones de operación similares. Luego de la separación, la fracción de vapor superior en el conducto 326 es entonces reintroducida en el
5
10
pase de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 para ser adicionalmente enfriada y condensada como se describe con anterioridad con respecto a la FIG. 1.

La corriente inferior deficiente en metano en el conducto 324 puede presentarse en la forma de un líquido, y puede contener la mayoría de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono hallados originalmente en la corriente en el
15
conducto 322. Por ejemplo, la corriente inferior deficiente en metano en el conducto 324 puede comprender por lo menos 70, 80, 90, 95 o 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono originalmente presentes en la corriente del conducto 322.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 326 puede comprender una gran porción de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 326 puede comprender por lo menos alrededor de 10, 25, 40, o 50 y/o no más de alrededor de 99.9, 99, 95 u 85 por ciento en moles de metano. Más en particular, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 326 puede comprender un rango de alrededor de 10 a
20
25
99.9, 25 a 99, 40 a 95 o 50 a 85 por ciento en moles de metano. Adicionalmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 326 puede

comprender por lo menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99 o 99.9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente del conducto 322.

Con referencia nuevamente a la FIG. 3, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 por medio del eje 95. El compresor 96 puede ser por lo menos

5 parcialmente accionado a partir del funcionamiento derivado del turboexpansor 94. Como se muestra en FIG. 3, el primer refrigerante mixto gaseoso vaporizado sale del pase de entibiamiento de refrigerante 36 en la tercera zona de enfriamiento 32 por medio del conducto 364 y luego se introduce en el compresor 96, donde se comprime antes de la introducción en el compresor 48. Luego de la

10 compresión, la corriente comprimida en el conducto 366 se introduce en la primera etapa de compresor 54 y es posteriormente tratada como se describe anteriormente con respecto a la FIG. 1. Si bien no se representa en la FIG. 3, un tambor de succión puede estar en comunicación fluida entre el compresor 96 y el pase de entibiamiento 36.

15 Debe observarse que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14 y el segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los conductos 370, 372, 374, 376, 378, 380, 382, 384, 386, 388 y 390) representados en la FIG. 3, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 3, funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con

20 respecto a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 3 se han etiquetado en forma diferente a fin de representar la forma de realización del sistema particular representado en la FIG. 3. Adicionalmente, las restantes etapas involucradas en la licuación del gas que contiene hidrocarburos no dirigidas anteriormente con respecto a la FIG. 3 (los conductos 310, 312, 314,

25 316, 318, 328, 330, 332 y 334) y las etapas no representadas en el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los conductos 336, 338, 340, 342, 344, 346,

348, 350, 352, 354, 356, 358, 360, 362 y 368) funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1.

- En la FIG. 4, se representa una instalación de recuperación de GNL 10 que contiene un turboexpansor 94 funcionalmente conectado por medio del conducto
- 5 420 a la tercera zona de enfriamiento 32 del primer sistema de refrigeración 12. Como se muestra en FIG. 4, por lo menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 puede ser dirigida por medio del conducto 420 al turboexpansor 94, donde puede ser expandida en una
- 10 corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar en las mismas o similares condiciones que las previamente descritas con respecto a la FIG. 2. Si bien no se representa en la FIG. 4, un tambor de succión puede estar en comunicación fluida entre el turboexpansor 94 y la tercera zona de enfriamiento 32, en ciertas formas de realización.
- 15 La corriente de dos fases expandida en el conducto 422 es entonces dirigida a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada de líquido que es deficiente 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 que aquel previamente descrito con respecto a la FIG. 2, y puede
- 20 funcionar en condiciones de operación similares. Luego de la separación, la fracción de vapor superior en el conducto 426 es entonces reintroducida en el pase de enfriamiento 34 de la tercera zona de enfriamiento 32 para ser adicionalmente enfriada y condensada como se describe con anterioridad con respecto a la FIG. 1.
- 25 La corriente inferior deficiente en metano en el conducto 424 puede presentarse en la forma de un líquido y puede contener la mayoría de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono hallados originalmente en la corriente en el

conducto 422. Por ejemplo, la corriente inferior deficiente en metano en el conducto 324 puede comprender por lo menos 70, 80, 90, 95 o 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono originalmente presente en la corriente del conducto 422.

- 5 La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 426 puede comprender una gran porción de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 426 puede comprender por lo menos alrededor de 10, 25, 40, o 50 y/o no más de alrededor de 99.9, 99, 95 u 85 por ciento en moles de metano. Más en particular, la corriente de vapor superior rica
- 10 en metano en el conducto 426 puede comprender un rango de alrededor de 10 a 99.9, 25 a 99, 40 a 95 o 50 a 85 por ciento en moles de metano. Adicionalmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 426 puede comprender por lo menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99 o 99.9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente del conducto 422.
- 15 Con referencia nuevamente a la FIG. 4, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 por medio del eje 95. El compresor 96 puede ser por lo menos parcialmente accionado a partir del funcionamiento derivado del turboexpansor 94. Como se muestra en FIG. 4, el segundo refrigerante mixto gaseoso vaporizado sale del pase de entibiamiento de refrigerante 42 en la zona de
- 20 enfriamiento 38 por medio del conducto 468 y luego se introduce en el compresor 96, donde se comprime antes de la introducción en el compresor 72. Luego de la compresión, la corriente comprimida en el conducto 470 se introduce en la primera etapa de compresor 74 y es posteriormente tratada como se describe anteriormente con respecto a la FIG. 1. Si bien no se representa en la FIG. 4, un
- 25 tambor de succión puede estar en comunicación fluida entre el compresor 96 y el pase de entibiamiento 42.

Debe observarse que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14 y el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los conductos 436, 438, 440, 442, 444, 446, 448, 450, 452, 454, 456, 458, 460, 462, 464 y 466) representados en la FIG. 4, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 4, funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 4 se han etiquetado en forma diferente a fin de representar la forma de realización del sistema particular representado en la FIG. 4. Adicionalmente, las restantes etapas involucradas en la licuación del gas que contiene hidrocarburos no dirigidas anteriormente con respecto a la FIG. 4 (los conductos 410, 412, 414, 416, 418, 428, 430, 432 y 434) y las etapas no representadas en el segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los conductos 472, 474, 476, 478, 480, 482, 484, 486, 488 y 490) funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1.

En la FIG. 5, se representa una instalación de recuperación de GNL 10 que contiene un turboexpansor 94 funcionalmente conectado por medio del conducto 522 a la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Como se muestra en FIG. 5, por lo menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 puede ser dirigida por medio del conducto 522 al turboexpansor 94, donde puede ser expandida en una corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar en las mismas o similares condiciones que las previamente descritas con respecto a la FIG. 2. Si bien no se representa en la FIG. 5, un tambor de succión puede estar en comunicación fluida 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 es entonces dirigida a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada de líquido que es deficiente en 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 que aquel previamente descrito con respecto a la FIG. 2 y puede funcionar en condiciones de operación similares.

La corriente inferior deficiente en metano en el conducto 526 puede presentarse en la forma de un líquido y puede contener la mayoría de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono hallados originalmente en la corriente en el conducto 524. Por ejemplo, la corriente inferior deficiente en metano en el conducto 526 puede comprender por lo menos 70, 80, 90, 95 o 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono originalmente presente en la corriente del conducto 524.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender una gran porción de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender por lo menos alrededor de 10, 25, 40, o 50 y/o no más de alrededor de 99.9, 99, 95 u 85 por ciento en moles de metano. Más en particular, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender un rango de alrededor de 10 a 99.9, 25 a 99, 40 a 95 o 50 a 85 por ciento en moles de metano. Adicionalmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 528 puede comprender por lo menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99 o 99.9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente del conducto 524.

Con referencia nuevamente a la FIG. 5, el turboexpansor 94 es conectado a un compresor 96 por medio del eje 95. El compresor 96 puede ser por lo menos parcialmente accionado a partir del funcionamiento derivado del turboexpansor 94. Como se muestra en FIG. 5, la corriente de vapor superior rica en metano en

el conducto 528 puede ser dirigida al compresor 96, que comprime la corriente. La corriente comprimida en el conducto 530 es entonces reintroducida en el pase de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 a fin de ser adicionalmente condensada y subenfriada como se describe con anterioridad con respecto a la

5 FIG. 1.

Debe observarse que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14, el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los 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 recirculación (los

10 conductos 570, 572, 574, 576, 578, 580, 582, 584, 586, 588 y 590) representados en la FIG. 5, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 5, funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 5 se han etiquetado en forma diferente a fin de representar la forma de

15 realización del sistema particular representado en la FIG. 5. Adicionalmente, las restantes etapas involucradas en la licuación del gas que contiene hidrocarburos no dirigidas anteriormente con respecto a la FIG. 5 (los conductos 510, 512, 514, 516, 518, 520, 532, 534 y 536) funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1.

20 En la FIG. 6, se representa una instalación de recuperación de GNL 10 que contiene un turboexpansor 94 funcionalmente conectado por medio del conducto 622 a la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Como se muestra en FIG. 6, por lo menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de

25 enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 puede ser dirigida por medio del conducto 622 al turboexpansor 94, donde puede ser expandida en una corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar en las mismas o similares

condiciones que las previamente descritas con respecto a la FIG. 2. Si bien no se representa en la FIG. 6, un tambor de succión puede estar en comunicación fluida entre el turboexpansor 94 y la zona de enfriamiento 38, en ciertas formas de realización.

- 5 La corriente de dos fases expandida en el conducto 624 es entonces dirigida a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada de líquido que es deficiente en metano (conducto 626) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 628). El separador 98 puede ser el mismo recipiente de separación que aquel previamente descrito con respecto a la FIG. 2 y puede
10 funcionar en condiciones de operación similares. Luego de la separación, por lo menos una porción de la fracción de vapor superior en el conducto 628 es entonces reintroducida en el pase de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 para ser adicionalmente condensada y subenfriada como se describe con anterioridad con respecto a la FIG. 1.
- 15 La corriente inferior deficiente en metano en el conducto 626 puede presentarse en la forma de un líquido y puede contener la mayoría de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono hallados originalmente en la corriente en el conducto 624. Por ejemplo, la corriente inferior deficiente en metano en el conducto 626 puede comprender por lo menos 70, 80, 90, 95 o 99 por ciento de
20 los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono originalmente presente en la corriente del conducto 624.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 628 puede comprender una gran porción de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 628 puede comprender por lo menos
25 alrededor de 10, 25, 40, o 50 y/o no más de alrededor de 99.9, 99, 95 u 85 por ciento en moles de metano. Más en particular, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 628 puede comprender un rango de alrededor de 10 a

99.9, 25 a 99, 40 a 95 o 50 a 85 por ciento en moles de metano. Adicionalmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 628 puede comprender por lo menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99 o 99.9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente del conducto 624.

- 5 Con referencia nuevamente a la FIG. 6, el turboexpansor 94 está conectado a un compresor 96 por medio del eje 95. El compresor 96 puede ser por lo menos parcialmente accionado a partir del funcionamiento derivado del turboexpansor 94. Como se muestra en FIG. 6, el primer refrigerante mixto gaseoso vaporizado sale del pase de entibiamiento de refrigerante 36 en la tercera zona de enfriamiento 32 por medio del conducto 664 y luego se introduce en el compresor 96, donde se comprime antes de la introducción en el compresor 48. Luego de la compresión, la corriente comprimida en el conducto 666 se introduce en la primera etapa de compresor 54 y es posteriormente tratada como se describe anteriormente con respecto a la FIG. 1. Si bien no se representa en la FIG. 6, un
10
15 tambor de succión puede estar en comunicación fluida entre el compresor 96 y el pase de entibiamiento 36.

Debe observarse que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14 y el segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los conductos 670, 672, 674, 676, 678, 680, 682, 684, 686, 688 y 690) representados
20 en la FIG. 6, que no se describieron anteriormente con respecto a la FIG. 6, funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 6 se han etiquetado en forma diferente a fin de representar la forma de realización del sistema particular representado en la FIG. 6. Adicionalmente, las
25 restantes etapas involucradas en la licuación del gas que contiene hidrocarburos no dirigidas anteriormente con respecto a la FIG. 6 (los conductos 610, 612, 614, 616, 618, 620, 630, 632 y 634) y las etapas no representadas en el primer ciclo de

refrigeración mixto de recirculación (los conductos 636, 638, 640, 642, 644, 646, 648, 650, 652, 654, 656, 658, 660, 662 y 668) funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1.

En la FIG. 7, se representa una instalación de recuperación de GNL 10 que contiene un turboexpansor 94 funcionalmente conectado por medio del conducto 722 a la zona de enfriamiento 38 del segundo sistema de refrigeración 14. Como se muestra en FIG. 7, por lo menos una porción de la corriente de gas de alimentación que contiene hidrocarburos que pasa a través del pase de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 puede ser dirigida por medio del conducto 722 al turboexpansor 94, donde puede ser expandida en una corriente de dos fases. El turboexpansor 94 puede operar en las mismas o similares condiciones que las previamente descritas con respecto a la FIG. 2. Si bien no se representa en la FIG. 7, un tambor de succión puede estar en comunicación fluida 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 es entonces dirigida a un separador 98 que separa la corriente expandida en una fracción pesada de líquido que es deficiente en metano (conducto 726) y una fracción de vapor superior que es rica en metano (conducto 728). El separador 98 puede ser el mismo recipiente de separación que aquel previamente descrito con respecto a la FIG. 2 y puede funcionar en condiciones de operación similares. Luego de la separación, por lo menos una porción de la fracción de vapor superior en el conducto 728 es entonces reintroducida en el pase de enfriamiento 40 de la zona de enfriamiento 38 para ser adicionalmente condensada y subenfriada como se describe con anterioridad con respecto a la FIG. 1.

La corriente inferior deficiente en metano en el conducto 726 puede presentarse en la forma de un líquido y puede contener la mayoría de los compuestos que

tienen seis o más átomos de carbono hallados originalmente en la corriente en el conducto 724. Por ejemplo, la corriente inferior deficiente en metano en el conducto 626 puede comprender por lo menos 70, 80, 90, 95 o 99 por ciento de los compuestos que tienen seis o más átomos de carbono originalmente presente en la corriente del conducto 724.

La corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender una gran porción de metano. Por ejemplo, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender por lo menos alrededor de 10, 25, 40, o 50 y/o no más de alrededor de 99.9, 99, 95 u 85 por ciento en moles de metano. Más en particular, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender un rango de alrededor de 10 a 99.9, 25 a 99, 40 a 95 o 50 a 85 por ciento en moles de metano. Adicionalmente, la corriente de vapor superior rica en metano en el conducto 728 puede comprender por lo menos 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99 o 99.9 por ciento del metano originalmente presente en la corriente del conducto 724.

Con referencia nuevamente a la FIG. 7, el turboexpansor 94 es conectado a un compresor 96 por medio del eje 95. El compresor 96 puede ser por lo menos parcialmente accionado a partir del funcionamiento derivado del turboexpansor 94. Como se muestra en FIG. 7, el segundo refrigerante mixto gaseoso vaporizado sale del pase de entibiamiento de refrigerante 42 en la zona de enfriamiento 38 por medio del conducto 768 y luego se introduce en el compresor 96, donde se comprime antes de la introducción en el compresor 72. Luego de la compresión, la corriente comprimida en el conducto 770 se introduce en la primera etapa de compresor 74 y es posteriormente tratada como se describe anteriormente con respecto a la FIG. 1. Si bien no se representa en la FIG. 7, un tambor de succión puede estar en comunicación fluida entre el compresor 96 y el pase de entibiamiento 42.

Debe observarse que el primer sistema de refrigeración 12, el segundo sistema de refrigeración 14 y el primer ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los 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 similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1. La única diferencia es que los respectivos conductos en la FIG. 7 se han etiquetado en forma diferente a fin de representar la forma de realización del sistema particular representado en la FIG. 7. Adicionalmente, las restantes etapas involucradas en la licuación del gas que contiene hidrocarburos no dirigidas anteriormente con respecto a la FIG. 7 (los conductos 710, 712, 714, 716, 718, 720, 730, 732 y 734) y las etapas no representadas en el segundo ciclo de refrigeración mixto de recirculación (los conductos 772, 774, 776, 778, 780, 782, 784, 786, 788 y 790) funcionan de la misma o similar manera que aquella previamente descrita con respecto a la FIG. 1.

DEFINICIONES.

Debe entenderse que el que sigue no tiene la intención de ser un listado exclusivo de términos definidos. Pueden proporcionarse otras definiciones en la descripción precedente, tal como, por ejemplo, cuando acompañan el uso de un término definido en el contexto.

De acuerdo con esta solicitud, los términos “un”, “una” y “el/la” significan uno o más.

De acuerdo con esta solicitud, el término “y/o”, cuando se usa en un listado de dos o más ítems, significa que cualquiera de los ítems citados puede ser empleado por sí mismo, o puede emplearse cualquier combinación de dos o más de los ítems citados. Por ejemplo, si se describe que una composición 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.

De acuerdo con esta solicitud, los términos “que comprende”, “comprende”, y “comprenden” son términos de transición abiertos, utilizados para la transición de
5 un sujeto citado antes del término, a uno o más elementos citados después del término, donde el elemento o los elementos citados luego del término de transición no necesariamente son los únicos elementos que forman el sujeto.

De acuerdo con esta solicitud, los términos “que tiene”, “tiene” y “tienen” poseen el mismo significado abierto que “que comprende”, “comprende” y “comprenden”
10 proporcionados anteriormente.

De acuerdo con esta solicitud, los términos “que incluye”, “incluyen” e “incluidos” poseen el mismo significado abierto que “que comprende”, “comprende” y “comprenden” proporcionados anteriormente.

De acuerdo con esta solicitud, los términos “primer/a”, “segundo/a”, “tercer/a” y similares se usan para describir diversos elementos, y dichos elementos no deben
15 ser limitados por estos términos. Estos términos solo se usan para distinguir un elemento de otro, y no necesariamente implican un orden específico, o incluso, un elemento específico. Por ejemplo, un elemento puede ser considerado “primer” elemento en la descripción, y un “segundo” elemento en las reivindicaciones, sin
20 alejarse del alcance de la presente invención. Se mantiene la uniformidad dentro de la descripción y de cada reivindicación independiente, si bien dichas nomenclaturas no tienen necesariamente la intención de ser uniformes entre ellas.

RANGOS NUMÉRICOS.

25 La presente descripción utiliza rangos numéricos a fin de cuantificar ciertos parámetros relacionados con la invención. Debe entenderse que cuando se proporcionan rangos numéricos, dichos rangos deben interpretarse de modo de

proporcionar soporte literal para las limitaciones de reivindicaciones que solo citan el valor inferior del rango, al igual que las limitaciones de reivindicaciones que solo citan el valor superior del rango. Por ejemplo, un rango numérico divulgado de 10 a 100 proporciona soporte literal para una reivindicación que cita “más de 10” (sin límites superiores) y una reivindicación que cita “menos de 100” (sin límites inferiores).

REIVINDICACIONES NO LIMITADAS A LAS FORMAS DE REALIZACIÓN DIVULGADAS.

- 10 Las formas de la invención preferidas descritas anteriormente deben usarse solo como ilustración, y no deben usarse en un sentido limitativo, a fin de interpretar el alcance de la presente invención. Los expertos en la técnica podrán efectuar sin dificultad modificaciones a las formas de realización ejemplares expuestas con anterioridad, sin alejarse del espíritu de la presente invención.
- 15 Los inventores establecen por el presente documento su intención de basarse en la Doctrina de Equivalentes, a fin de determinar y evaluar el alcance razonablemente adecuado de la presente invención en relación a cualquier aparato que no se aleje materialmente pero que se encuentre fuera del alcance literal de la invención que se expone en las siguientes reivindicaciones.