

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 416**

51 Int. Cl.:

F25J 1/00 (2006.01)

F25J 1/02 (2006.01)

F25J 3/06 (2006.01)

F25J 3/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2016 PCT/EP2016/079386**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017 WO17093377**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2016 E 16805389 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2019 EP 3384216**

54 Título: **Método de licuefacción de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos con CO₂**

30 Prioridad:

03.12.2015 EP 15197898

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

22.04.2020

73 Titular/es:

**SHELL INTERNATIONALE RESEARCH
MAATSCHAPPIJ B.V. (100.0%)**

**Carel van Bylandtlaan 30
2596 HR The Hague, NL**

72 Inventor/es:

**GROENENDIJK, THIJS;
POORTE, RAIMO, EDWIN, GREGOR;
RAGHAVAN, NIRUPA y
VAN AKEN, MICHIEL, GIJSBERT**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 755 416 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método de licuefacción de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos con CO₂

La presente invención se refiere a un método de licuefacción de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, siendo el contaminante CO₂.

5 Los métodos de licuefacción de corrientes de gas que contienen hidrocarburos son bien conocidos en la técnica. Es deseable licuar una corriente de gas que contiene hidrocarburos, tal como la corriente de gas natural, por varias razones. Como un ejemplo, el gas natural puede almacenarse y transportarse a largas distancias más fácilmente como un líquido que en forma gaseosa, porque ocupa un volumen menor y no necesita almacenarse a altas presiones. Típicamente, antes de licuarse, la corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos se trata para
10 eliminar uno o más contaminantes (como H₂O, CO₂, H₂S y similares) que pueden separarse por congelación durante el proceso de licuefacción.

El documento WO2014/166925 describe un método para licuar una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, comprendiendo el método al menos las etapas de:

- (1) proporcionar una corriente de gas que contiene hidrocarburos contaminado;
- 15 (2) enfriar la corriente de gas que contiene hidrocarburos contaminado en un primer intercambiador de calor obteniendo así una corriente que contiene hidrocarburos contaminado enfriada;
- (3) enfriar la corriente que contiene hidrocarburos contaminado enfriada en un expansor obteniendo así una corriente parcialmente licuada;
- 20 (4) separar la corriente parcialmente licuada en un separador obteniendo así una corriente gaseosa y una corriente líquida;
- (5) expandir el vapor líquido obtenido en la etapa (4) obteniendo así una corriente multifásica, conteniendo la corriente multifásica al menos una fase de vapor, una fase líquida y una fase sólida;
- (6) separar la corriente multifásica en un separador obteniendo así una corriente gaseosa y una corriente de suspensión (que comprende CO₂ sólido e hidrocarburos líquidos);
- 25 (7) separar la corriente de suspensión en un separador sólido/líquido obteniendo así una corriente líquida de hidrocarburos y una corriente de suspensión concentrada;
- (8) hacer pasar la corriente gaseosa obtenida en la etapa (4) a través del primer intercambiador de calor obteniendo de ese modo una corriente gaseosa calentada; y
- (9) comprimir la corriente gaseosa calentada obteniendo así una corriente de gas comprimido; y
- 30 (10) combinar la corriente de gas comprimido obtenida en la etapa (9) con la corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos proporcionada en la etapa (1).

El método descrito en el documento WO2014/166925 permite licuar una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos con un recuento de equipamiento relativamente bajo, proporcionando así un método simple y rentable de licuar una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, en particular una corriente de gas contaminado que contiene metano como el gas natural. El contaminante puede ser CO₂.
35

El método según WO2014/166925 utiliza un esquema de proceso de separación por congelación para eliminar CO₂. En la etapa (5) como se ha descrito anteriormente, las condiciones del proceso en la corriente líquida obtenida en la etapa (4) están justo fuera de la envoltura de separación por congelación de CO₂ (las condiciones del proceso son, por ejemplo, 20 bar, -120 °C, 1 % mol CO₂) de modo que cualquier reducción de temperatura adicional provocará la separación por congelación del CO₂. La reducción de temperatura se consigue en la etapa (5) por reducción de
40 presión sobre una válvula Joule Thomson. La reducción de presión evapora parte del metano líquido, enfriando así el líquido restante.

El uso de una válvula Joule Thomson tiene un par de inconvenientes.

45 En primer lugar, el tiempo de permanencia de las moléculas en la Joule Thomson es muy corto (<1 ms) y, por lo tanto, hay muy poco tiempo para el crecimiento de cristales de CO₂.

En segundo lugar, solo se obtiene un subenfriamiento modesto por debajo de la temperatura de separación por congelación de CO₂, típicamente en el intervalo de 1 - 10 °C, lo que crea una fuerza impulsora modesta para la cristalización de CO₂.

50 En tercer lugar, una válvula Joule Thomson no proporciona un control independiente de la presión y la temperatura, ya que la temperatura aguas abajo sigue a la presión aguas abajo.

Además, la evaporación rápida de la corriente líquida sobre la válvula Joule Thomson crea una mezcla multifásica principalmente de vapor, algo de líquido y una pequeña cantidad de sólido, donde la presencia de la abundante fase de vapor mezcla la fase líquida, lo que perturba el proceso de crecimiento de cristales de CO₂, ya que la mezcla puede causar la ruptura de los sólidos.

- 5 Además, la válvula Joule Thomson generará una fuerza de cizalla relativamente grande en la corriente líquida. Esta fuerza de cizalla, ejercida en el estrecho espacio libre de la válvula Joule Thomson, tiende a alterar las partículas de CO₂ y, por lo tanto, perturba la formación y/o crecimiento de partículas de CO₂.

Todos los inconvenientes mencionados anteriormente contribuyen a la formación de partículas de CO₂ relativamente pequeñas. Por lo general, las partículas sólidas de CO₂ tienen un tamaño inferior a 20 micras (<20*10⁻⁶ metros).

- 10 Las partículas pequeñas de CO₂ son relativamente difíciles de separar de los hidrocarburos líquidos, lo que podría dar como resultado residuos sólidos de CO₂ en el producto GNL.

El documento WO2015017357 describe un proceso y un sistema para la producción de gas natural licuado (GNL) a partir de gas natural. El gas natural primero se purifica parcialmente mediante la eliminación de agua y otros contaminantes, seguido de un enfriamiento parcial para congelar algunos contaminantes y permitir la producción de una corriente de purga para eliminar otros contaminantes. Estos contaminantes pueden eliminarse de la corriente.

- 15

Este proceso provoca la separación por congelación a un solo nivel de temperatura mediante enfriamiento isobárico en una torre de enfriamiento rápido; sin embargo, cualquier separación por congelación adicional debido a enfriamiento isobárico en un enfriador no está separado del producto GNL. Los sólidos formados en el enfriador pueden con el tiempo bloquear la etapa del flujo, haciendo que el proceso sea difícil de operar.

- 20 El documento WO2012068588 describe un sistema y un método para separar los vapores condensables de los gases mediante intercambio de calor de contacto directo. Los vapores condensables como el dióxido de carbono se separan de los gases ligeros en una corriente de proceso. Los sistemas y métodos emplean un intercambiador de calor de intercambio directo para desublimar los vapores condensables de la corriente del proceso. Los vapores condensables se condensan poniendo en contacto directo un líquido de intercambio de calor en el intercambiador de calor de contacto directo, mientras que los gases ligeros no condensados de la corriente de proceso forman una corriente de gas ligero separada. La corriente de gas ligero separada se puede usar en un intercambiador de calor recuperativo para enfriar la corriente del proceso.
- 25

El documento WO2012068588 introduce la necesidad de un líquido de intercambio de calor no volátil separado (tal como ciclopentano de metilo) y, por lo tanto, no es adecuado para usarse en un método de licuefacción de un gas que contiene hidrocarburos, es decir, para producir GNL), ya que este líquido de intercambio de calor externo separado contaminaría el GNL.

- 30

El documento WO2012162690 describe un método y un sistema para separar los vapores condensables como el dióxido de carbono de los gases o líquidos ligeros en una corriente de proceso mixto. La separación se lleva a cabo en un proceso criogénico utilizando uno o más circuitos de enfriamiento externos (CEE) que primero enfrían una corriente de proceso mixta que contiene vapores condensables y gases o líquidos ligeros, haciendo que los vapores condensables se desublimen y formen sólidos. A continuación, los sólidos se separan de los gases o líquidos ligeros, formando una corriente sólida y una corriente de gas o líquido ligero. A continuación los refrigerantes del CEE se enfrían calentando la corriente sólida separada y la corriente de gas o líquido ligero, recuperando eficientemente la energía utilizada en el enfriamiento y desublimación de los vapores condensables.

- 35

Los documentos WO2012068588 y WO2012162690 no son adecuados para uso en el método de licuefacción de una corriente de hidrocarburos para producir GNL.

- 40

Es un objeto de la presente invención resolver o al menos minimizar los problemas anteriores identificados con respecto al documento WO2014/166925.

Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un método más simple y más rentable de licuefacción de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, en particular una corriente de gas contaminado que contiene metano tal como gas natural.

- 45

De acuerdo con una realización, se proporciona un método de licuefacción de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, comprendiendo el método al menos las etapas de:

(a) proporcionar una corriente de gas (20) contaminado que contiene hidrocarburos, siendo el contaminante CO₂;

- 50 (b) enfriar la corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos para obtener una corriente parcialmente licuada (70);

(c) separar la corriente parcialmente licuada (70) en un separador (5) obteniendo así una corriente gaseosa (80) y una corriente líquida (90);

(d) enfriar la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c) haciendo pasar la corriente líquida (90) a un intercambiador de calor de contacto directo (200) obteniendo así una corriente multifásica (201), conteniendo la corriente multifásica (201) al menos una fase líquida y una fase sólida, conteniendo la fase sólida partículas de CO₂;

5 (e) separar la corriente multifásica (201) en un separador sólido-líquido (202) obteniendo así una corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ y una corriente de suspensión (140) enriquecida en CO₂;

(f) hacer pasar la corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ a una etapa adicional de enfriamiento, reducción de presión y separación, generando la etapa adicional de enfriamiento, reducción de presión y separación una corriente gaseosa (190), una corriente líquida purificada (205) y una corriente de suspensión (206) adicional enriquecida en CO₂;

10 (g) hacer pasar al menos parte de la corriente de suspensión (206) adicional enriquecida en CO₂ al intercambiador de calor de contacto directo (200) para proporcionar un servicio de enfriamiento y mezclar con la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c).

15 La corriente 206 de suspensión enriquecida en CO₂ adicional comprende preferiblemente partículas sólidas de CO₂ sobre las cuales el CO₂ disuelto puede separarse por congelación. Esto da como resultado la formación de partículas de CO₂ más grandes en el intercambiador de calor de contacto directo (200).

De acuerdo con una realización, se proporciona un sistema de licuefacción de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, comprendiendo el sistema:

(a) un conducto de alimentación (20) dispuesto para proporcionar una corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos, siendo el contaminante CO₂;

20 (b) una etapa de enfriamiento y expansión (3, 4) dispuesta para recibir la corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos y descargar una corriente parcialmente licuada (70);

(c) un separador (5) dispuesto para recibir la corriente parcialmente licuada (70) y descargar una corriente gaseosa (80) y una corriente líquida (90);

25 (d) un intercambiador de calor de contacto directo (200) dispuesto para recibir y enfriar la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c) para obtener una corriente multifásica (201), conteniendo la corriente multifásica (201) que contiene al menos una fase líquida y una fase sólida, conteniendo la fase sólida partículas de CO₂;

(e) un separador sólido-líquido (202) dispuesto para recibir la corriente multifásica (201) y descargar una corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ y una corriente de suspensión (140) enriquecida en CO₂;

30 (f) una etapa adicional de enfriamiento, reducción de presión y separación dispuesta para recibir la corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ y generar una corriente gaseosa (190), una corriente líquida purificada (205) y otra corriente de suspensión (206) enriquecida en CO₂;

(g) un conducto de reciclado (206) que está dispuesto para pasar al menos parte de la corriente de suspensión (206) adicional enriquecida en CO₂ que comprende partículas sólidas de CO₂ al intercambiador de calor de contacto directo (200).

35 Este conducto de reciclado está dispuesto para proporcionar partículas sólidas de CO₂ al intercambiador de calor de contacto directo 200 en el que el CO₂ disuelto puede separarse por congelación formando así partículas de CO₂ más grandes, así como para proporcionar un servicio de enfriamiento y mezcla con la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c).

40 El método y el sistema como se describe anteriormente y se describe a continuación con referencia a las realizaciones, preferiblemente no usa un refrigerante separado que circula en un ciclo de refrigerante separado. La corriente de gas contaminado 20 que contiene hidrocarburos se enfría preferiblemente por enfriamiento por expansión y por enfriamiento en un intercambiador de calor frente a una corriente de refrigerante que se forma a partir de la corriente de gas 20 que contiene hidrocarburos.

En lo sucesivo, la invención se ilustrará adicionalmente mediante el siguiente dibujo no limitante. Aquí muestra:

45 Las figuras 1a-c muestran esquemáticamente diferentes esquemas de proceso para realizar el método de acuerdo con diferentes realizaciones, y

La figura 2 muestra esquemáticamente un diagrama lineal de escarcha para una mezcla binaria de CO₂ y metano.

Para el propósito de esta descripción, los números de referencia se refieren a la corriente así como al conducto que lleva esta corriente.

Las Figuras 1a - 1c muestran esquemáticamente un sistema o esquema de proceso para realizar un método de licuefacción de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos. El sistema generalmente se refiere con el número de referencia 1.

5 El esquema de proceso 1 como se muestra en la figura 1a comprende un compresor 2, un intercambiador de calor 3 ("el primer intercambiador de calor"), un expansor 4, un primer separador 5, una válvula 6 JT, un intercambiador de calor de contacto directo 200, un separador sólido-líquido 202, una válvula 203 (Joule Thomson), un separador 204, otro separador sólido-líquido 209, un recipiente de evaporación rápida final 207, un segundo intercambiador de calor 15, un expansor 16 y opcionalmente un separador de metanol 17. El esquema de proceso puede comprender además hardware adicional tal como, por ejemplo, intercambiadores de calor adicionales además del primer
10 intercambiador de calor 3 y el segundo intercambiador de calor 15. Preferiblemente, el primer intercambiador de calor 3 y el segundo intercambiador de calor 15 son intercambiadores de calor separados.

Durante el uso del esquema de proceso 1, se proporciona una corriente de gas contaminado 20 que contiene hidrocarburos (que previamente se ha comprimido como corriente 10 en el compresor 2). Esto se refiere a la etapa (a) como se ha descrito anteriormente.

15 Aguas arriba del compresor 2 puede haber tenido lugar el tratamiento de gases, como la eliminación de agua, la eliminación de hidrocarburos pesados (heptano y más pesados), la eliminación de H₂S.

La corriente de gas 20 contaminado que contiene hidrocarburos es típicamente una corriente de gas natural. La corriente 20 de hidrocarburo contaminado tiene típicamente una presión en el intervalo de 40 a 120 bar y está a una temperatura en el intervalo de -30 a 30 ° C. La corriente de gas 20 contaminado que contiene hidrocarburos
20 comprende al menos 50% en volumen de metano, preferiblemente al menos 80% en volumen.

En una etapa siguiente (b), la corriente de gas 20 contaminado que contiene hidrocarburos se enfría para obtener una corriente 70 parcialmente licuada. Como se ha indicado anteriormente, esto se hace preferiblemente sin el uso de ciclos de refrigerante separados, pero preferiblemente se hace enfriando frente a parte de la corriente 10 o la corriente de gas 20 contaminado que contiene hidrocarburos obtenida como parte del esquema o método del
25 proceso.

De acuerdo con una realización la etapa (b) comprende

(b1) enfriar la corriente de gas 20 contaminado que contiene hidrocarburos en un primer intercambiador de calor 3 obteniendo de ese modo una corriente 40 que contiene hidrocarburos contaminado enfriada;

(b2) enfriar la corriente 40, 60 contaminado que contiene hidrocarburos enfriada en un expansor 4, obteniendo así la corriente 70 parcialmente licuada.
30

La corriente 40 contaminada que contiene hidrocarburos enfriada obtenida en la etapa (b1) tiene típicamente una temperatura de como máximo -40 °C, preferiblemente como máximo -50 °C, más preferiblemente como máximo -60 °C.

El primer intercambiador de calor 3 es (como el segundo intercambiador de calor 15) un intercambiador de calor indirecto; por lo tanto, no se produce contacto directo entre las corrientes, sino solo el contacto de intercambio de calor.
35

Como se muestra en las realizaciones mostradas en la figura 1a-c, la corriente 40 contaminado que contiene hidrocarburos enfriada se pasa opcionalmente al separador de metanol 17 para separar el metanol (como corriente 50) que se ha inyectado previamente (por ejemplo, en la corriente 20) para evitar la formación de hidratos.

40 Después del separador de metanol 17, la corriente de gas que contiene hidrocarburos contaminado enfriada (agotada en metanol) se enfría adicionalmente como corriente 60 en el expansor 4, obteniendo así la corriente 70 parcialmente licuada (etapa b2). Esta corriente 70 parcialmente licuada se separa en el separador 5 obteniendo así una corriente gaseosa 80 y una corriente líquida 90 (etapa c).

El separador 5 puede funcionar justo por encima de la línea de congelación de CO₂, por ejemplo a 20 bar y menos 120 °C para una corriente con 1,0% en moles de CO₂.
45

Como se muestra en las figuras, el vapor líquido 90 puede expandirse en la válvula 6 JT, obteniendo así una corriente multifásica 100.

Entonces, de acuerdo con una realización hacer pasar la corriente líquida 90 obtenida en la etapa (c) a un intercambiador de calor de contacto directo 200 comprende hacer pasar la corriente líquida 90 sobre un dispositivo de reducción de presión. El dispositivo de reducción de presión puede ser una válvula 6 (Joule Thomson). La válvula de reducción de presión evapora rápidamente parcialmente la corriente líquida 90 y de ese modo enfría la fase líquida restante para obtener una corriente multifásica que comprende líquido, vapor y posiblemente sólidos.
50

La corriente multifásica 100 puede comprender una fracción de CO₂ en el intervalo de 0,001% mol - 10% mol de CO₂.

5 La corriente líquida 90 obtenida en la etapa (c) tiene típicamente una presión en el intervalo de 12-30 bar, por ejemplo 15-25 bar. El dispositivo de reducción de presión 6 típicamente crea una caída de presión de 1 - 20 bar. La presión de la corriente multifásica 100 aguas abajo del dispositivo de reducción de presión está típicamente en el intervalo de 4 - 29 bar, por ejemplo en el intervalo de 10 - 24 bar.

La corriente multifásica 100 puede tener una temperatura en el intervalo de -100 °C a -130 °C.

10 La corriente 20 contaminado que contiene hidrocarburos se enfría primero en un intercambiador de calor 3 y por medio de un expansor 4 (etapas b1 y b2). A continuación la corriente se separa (etapa c) y opcionalmente se enfría adicionalmente mediante evaporación rápida sobre un dispositivo de reducción de presión 6.

La corriente contaminado que contiene hidrocarburos enfriada resultante, en la etapa (d), se enfría adicionalmente en un intercambiador de calor de contacto directo 200, obteniendo así una corriente multifásica 201. La corriente multifásica 201 contiene al menos una fase líquida y una fase sólida, conteniendo la fase sólida partículas de CO₂.

15 La figura 2 muestra esquemáticamente el comportamiento de fase de una mezcla binaria de CO₂ y CH₄. Se indican dos líneas de escarcha (líneas discontinuas I y II) y la curva del punto de burbuja se indica mediante la línea continua.

La línea de escarcha I corresponde a una mezcla binaria de 0,2% en moles de CO₂ y 99,8% en moles de CH₄. La línea de escarcha II corresponde a una mezcla binaria de 1 mol% de CO₂ y 99 mol% de CH₄. Por encima de la curva del punto de burbuja, hay una fase líquida, pero no hay fase de vapor.

20 La presencia de CO₂ sólido depende de la presión, la temperatura y la concentración de CO₂. Considere el punto D, ubicado en la línea de escarcha de CO₂ para 0,2 mol% de CO₂. Si la concentración de CO₂ excede 0,2% en mol en las condiciones de presión y temperatura del punto D, hay una fase sólida de CO₂ y hay una fase líquida compuesta de CH₄ y CO₂.

25 Las líneas de escarcha de CO₂ son discontinuas en la curva del punto de burbuja (como se puede ver en los puntos B y D que están en la línea de escarcha para 0,2% mol de CO₂, y en los puntos A y C que están en la línea de escarcha para 1,0% mol CO₂).

30 La temperatura de congelación de CO₂ para el punto D (que se encuentra por encima de la curva del punto de burbuja, por lo tanto, en la región líquida/sólida de la envolvente de fase) es 25 grados Celsius más baja que la temperatura de congelación en el punto B (que se encuentra debajo de la curva del punto de burbuja, por lo tanto, en la región vapor/líquido/sólido de la envolvente de fase).

Este comportamiento de fase se desarrolla en las realizaciones. Como ejemplo, al operar el proceso de separación por congelación en las condiciones de presión y temperatura del punto B, se elimina la misma cantidad de CO₂ que en un proceso que opera en las condiciones de presión y temperatura del punto D.

35 Según una realización, la combinación de la presión y la temperatura en el intercambiador de calor de contacto directo 200 se controla para que esté por debajo de la curva del punto de burbuja para la fracción molar de CO₂ relevante en un diagrama de presión frente a temperatura (por ejemplo, el punto A o B en la Fig. 2), correspondiente a la región de vapor, líquido y sólido de la envolvente de fase.

40 Como se puede ver en la figura 2, la temperatura de congelación de CO₂ para el punto D (que se encuentra por encima de la curva del punto de burbuja, por lo tanto, en la región líquida/sólida de la envolvente de fase) es menor (aproximadamente 25 °C) que la temperatura separación por congelación en el punto B (que se encuentra debajo de la curva del punto de burbuja, por lo tanto, en la región vapor/líquido/sólido de la envolvente de fase).

45 Debajo de la curva del punto de burbuja, se llevará a cabo un proceso de separación por congelación termodinámica que congela al menos parte del CO₂ líquido en CO₂ sólido, y al menos parte del CO₂ gaseoso en partículas de CO₂ sólido. Las condiciones de temperatura en el intercambiador de calor de contacto directo 200 (a cualquier presión de funcionamiento dada) pueden controlarse controlando el caudal y/o la temperatura de la corriente de retroalimentación 206. Esto permite maximizar la cantidad de CO₂ que está en fase sólida, optimizando así las condiciones para la separación en el separador sólido-líquido 202. La corriente de retroalimentación 206 puede ser accionada por una bomba 2061.

50 El deber de enfriamiento para el intercambiador de calor de contacto directo 200 se obtiene mediante una corriente de retroalimentación 206 del enfriamiento adicional y la separación de la corriente multifásica 201, como se explicará con más detalle a continuación.

El control del caudal se puede hacer, por ejemplo, controlando la configuración de funcionamiento de la bomba 2061.

- 5 La corriente multifásica 201 se separa para obtener una corriente líquida 141 empobrecida en CO₂ y una corriente de suspensión 140 enriquecida en CO₂ (etapa (e)), y la corriente líquida 141 empobrecida en CO₂ se somete adicionalmente a una etapa de reducción de presión, enfriamiento y separación (etapa (f)), obteniendo de ese modo una corriente gaseosa 190, una corriente líquida purificada 205 y una corriente de suspensión 206 enriquecida en CO₂ adicional.
- 10 El término etapa de reducción de presión, enfriamiento y separación se usa en este texto de una manera que no necesariamente implica enfriamiento frente a un refrigerante, sino que puede incluir enfriamiento por expansión y/o enfriamiento frente a sí mismo (es decir, como se explica con más detalle con referencia a la figura 1b-c). La etapa de reducción de presión, enfriamiento y separación se puede denominar alternativamente como etapa de reducción de presión y separación.
- 15 La corriente 206 de suspensión enriquecida en CO₂ adicional se usa para proporcionar partículas sólidas de CO₂ sobre las cuales el CO₂ disuelto puede congelarse formando así partículas de CO₂ más grandes, así como actuar como servicio de enfriamiento al intercambiador de calor de contacto directo 200 (etapa (g)).
- 20 La corriente de suspensión concentrada 140 puede procesarse adicionalmente si se desea; típicamente, es una corriente rica en CO₂. Preferiblemente, la corriente de suspensión concentrada 140 se calienta en el calentador en suspensión 12 y se separa en una fase líquida 160 y una fase gaseosa 150; la fase gaseosa 150 puede combinarse con una corriente de gas combustible (mostrada esquemáticamente en la figura 1a).
- 25 El uso de un intercambiador de calor de contacto directo 200 da como resultado partículas de CO₂ más grandes en la corriente multifásica 201 que se obtiene en el intercambiador de calor de contacto directo 201 (etapa d) y se hace pasar al separador sólido-líquido 202 (etapa e).
- 30 Además, otros contaminantes, como el agua e hidrocarburos pesados, también se separarán por congelación en el intercambiador de calor de contacto directo 200. Las trazas de estos otros contaminantes todavía pueden estar presentes en la corriente superior 60 obtenida del separador de metanol 17 y también se eliminan eficazmente.
- 35 En consecuencia, el método tiene la ventaja de que pueden procesarse las corrientes de gas contaminados que contienen hidrocarburos con un contenido de CO₂ de más de 2% mol, más de 5% mol o incluso hasta 10% mol. Una ventaja adicional es que se forman partículas de CO₂ más grandes, que se separan más fácilmente.
- 40 Las corrientes que se hacen pasar a través del intercambiador de calor de contacto directo 200 experimentarán fuerzas de cizalla que son considerablemente más pequeñas que las fuerzas de cizalla experimentadas por una corriente que se hace pasar a través de una válvula Joule Thomson o dispositivo de expansión similar.
- 45 De acuerdo con una realización, la fase sólida de la corriente multifásica 201 obtenida en la etapa (d) contiene partículas de CO₂ con un tamaño medio mayor que 50 micrómetros, preferiblemente mayor que 100 micrómetros, más preferiblemente mayor que 200 micrómetros o mayor que 350 micrómetros.
- 50 Por lo general, el tamaño medio está en el intervalo de 100 - 500 micras. Esto contribuye a una separación más fácil y mejorada en la etapa f.
- De acuerdo con una realización, el tiempo de permanencia de las moléculas que forman la corriente líquida 90 obtenida en la etapa (c) y las moléculas que forman la al menos parte de la corriente 206 de suspensión enriquecida en CO₂ adicional obtenida en la etapa (f) en el intercambiador de calor de contacto directo 200 es mayor que 10 segundos
- Preferiblemente, el tiempo de permanencia es de más de 30 segundos. Más preferiblemente, el tiempo de permanencia está en el intervalo de 10 a 60 segundos.
- El tiempo de permanencia se define como el tiempo medio que tarda una molécula de la corriente líquida 90 obtenida en la etapa (c) en viajar a través del intercambiador de calor de contacto directo 200.
- El tiempo de permanencia relativamente largo de las moléculas permite una mayor cristalización y crecimiento de las partículas de CO₂ contenidas en la corriente multifásica 201.
- Según una realización, la temperatura de la corriente multifásica 201 obtenida en la etapa (d) está más de 10°C por debajo del punto de congelación de CO₂. El punto de congelación se define como la temperatura a la que se forma el primer CO₂ sólido a una fracción molar de CO₂ dada y una presión dada. Así, el punto de congelación de CO₂ es el punto de congelación de CO₂ asociado con las condiciones de operación del intercambiador de calor de contacto directo 200, es decir, asociado con la fracción molar de CO₂.
- La corriente multifásica 201 puede comprender una fracción de CO₂ en el intervalo de 0,01% mol - 20% mol de CO₂.
- La figura 2 muestra esquemáticamente un diagrama lineal de congelación para una mezcla binaria de CO₂ y metano. La persona experta será capaz de determinar la temperatura de congelación para una corriente multifásica dada.

ES 2 755 416 T3

- La temperatura de la corriente multifásica 201 puede estar en el intervalo de menos 110 °C - menos 160 °C, por ejemplo, menos 135 °C a una presión en el intervalo de 4 - 16 bar, preferiblemente en el intervalo de 8 - 12 bar, por ejemplo, 10 bar. Esto tiene el efecto de que la corriente multifase 201 no comprende una fase de vapor o solo una porción de fase de vapor relativamente pequeña que podría alterar el proceso de cristalización y crecimiento de las partículas de CO₂ contenidas en la corriente multifase 201.
- 5 Según una realización, la al menos parte de la corriente 206 de suspensión enriquecida en CO₂ adicional hecha pasar al intercambiador de calor de contacto directo 200 en la etapa (g) comprende partículas de CO₂ que funcionan como partículas de semillas en el intercambiador de calor de contacto directo 200.
- 10 Las partículas de CO₂ contenidas en la al menos parte de la corriente de suspensión enriquecida en CO₂ adicional pueden tener un tamaño medio en el intervalo de 100 - 300 micras.
- Las partículas de semilla inician y aceleran el crecimiento de partículas de CO₂ contenidas en la corriente multifásica 201, dando como resultado partículas de CO₂ más grandes en la corriente multifase 201 que pueden separarse relativamente fácil.
- 15 Según una realización, la presión y la temperatura en el intercambiador de calor de contacto directo 200 se seleccionan de manera que la fase de vapor, la fase líquida y la fase sólida estén presentes simultáneamente.
- Esto es ventajoso ya que las condiciones óptimas para una corriente de alimentación con una fracción molar de CO₂ dada se producen para una presión y temperatura donde hay vapor/líquido/sólido (en lugar de un régimen líquido/sólido). Esto permite lograr una temperatura más alta de congelación (a aproximadamente 25 °C) y/o alcanzar una separación más profunda de CO₂. Esto optimiza el proceso de separación.
- 20 El separador sólido/líquido 202 puede ser cualquier separador sólido/líquido adecuado.
- El vapor puede ventilarse desde el intercambiador de calor de contacto directo 200 a través de una línea de ventilación 191 que conecta el intercambiador de calor de contacto directo 200 con la corriente gaseosa 190 obtenida en la etapa (f) o el separador 204 como se usa en la etapa (f). Ambas opciones se muestran con una línea discontinua en la figura 1a.
- 25 Según una realización, el separador 202 sólido-líquido de la etapa (e) comprende uno o más separadores ciclónicos, uno o más filtros o uno o más recipientes de sedimentación basados en la gravedad.
- Se pueden usar uno o más separadores ciclónicos en serie y/o paralelos. En un separador ciclónico, la corriente se lleva a un movimiento en forma de remolino de tal manera que los componentes más pesados son forzados hacia afuera y se separan al menos parcialmente de los componentes más ligeros para formar la corriente de suspensión enriquecida en CO₂ (140; componentes más pesados) y la corriente líquida empobrecida en CO₂ (141; componentes más ligeros). Se puede usar cualquier tipo adecuado de separador ciclónico y se puede generar un movimiento de remolino utilizando la entrada tangencial o un ciclón en línea donde el remolino se genera utilizando elementos internos.
- 30 Se pueden usar uno o más recipientes de sedimentación basados en la gravedad en serie y/o paralelos en los que se puede introducir la corriente multifásica 201 y se le debe proporcionar un tiempo de permanencia suficiente para permitir que los componentes más pesados se asienten y se obtenga la corriente de suspensión 140 enriquecida en CO₂ como corriente inferior.
- 35 De acuerdo con una realización, la etapa (f) comprende
- 40 (f1) hacer pasar la corriente 141 de líquido empobrecido en CO₂ sobre un dispositivo de reducción de presión, tal como una válvula 203 de Joule Thomson y dentro de un separador 204,
- (f2) obtener la corriente gaseosa 190 como corriente superior desde el separador 204 y obtener una corriente multifase adicional 208 como corriente inferior desde el separador 204, conteniendo la corriente multifase adicional 208 al menos una fase líquida y una fase sólida, conteniendo la fase sólida partículas de CO₂;
- 45 (f3) separar la corriente multifásica adicional 208 en un separador sólido-líquido adicional 209, obteniendo así la corriente líquida purificada 205 y la corriente 206 de suspensión enriquecida en CO₂ adicional.
- El separador 204 puede ser un separador ciclónico o un separador basado en la gravedad.
- El separador sólido-líquido adicional 209 puede comprender uno o más separadores ciclónicos dispuestos en paralelo o uno o más recipientes de sedimentación basados en la gravedad.
- La corriente gaseosa 190 puede tener una presión de 1 a 10 bar.
- 50 Según una realización, el método (h) comprende

ES 2 755 416 T3

hacer pasar la corriente líquida purificada 205 a una etapa de evaporación rápida final obteniendo una corriente de gas de evaporación rápida final 271 y una corriente de gas natural líquido 170.

5 La etapa de evaporación rápida final comprende la válvula 2051 y el recipiente 207 de evaporación rápida final y produce una corriente de gas de evaporación rápida final 271 y una corriente de gas natural líquida 170 como corriente inferior.

La corriente de gas natural líquida 170 es adecuada para el almacenamiento en un tanque de almacenamiento 11 de GNL, preferiblemente a o cerca de la presión atmosférica (por ejemplo, en el intervalo de 1 - 1,2 bar).

Como se muestra en las figuras, se obtiene una corriente de gas de ebullición 180 del tanque de almacenamiento 11 de GNL.

10 De acuerdo con una realización, parte de la corriente de gas natural líquida 170 se retroalimenta a la etapa de enfriamiento, reducción de presión y separación de la etapa (f) para proporcionar servicio de enfriamiento a la corriente líquida 141 empobrecida en CO₂. En particular, se proporciona servicio de enfriamiento a la corriente multifásica adicional 208 (obtenida en la etapa f2). Se puede usar ventajosamente el servicio de enfriamiento de la corriente de gas natural líquida 170. Esto puede realizarse de diferentes maneras, ejemplos de las cuales se proporcionan en las figuras 1b - 1c.

15 De acuerdo con las realizaciones mostradas en las figuras 1b y 1c, se proporciona un conducto de reciclado 171 adicional dispuesto para transportar una corriente de reciclado adicional, obtenida como corriente dividida de la corriente de gas natural líquida 170, entre un recipiente de evaporación rápida 207 final y el tanque de almacenamiento 11 de GNL. Sin embargo, alternativamente, la corriente de reciclado 171 puede obtenerse directamente del tanque de almacenamiento 11 de GNL.

20 La ventaja de la realización en la figura 1b es que la corriente de reciclado 171 adicional (que tiene una temperatura de aproximadamente -161 °C) reduce la temperatura en el separador sólido-líquido 209 adicional, por lo tanto crea condiciones de congelación de CO₂ más severas que mejoran la formación de CO₂ sólido y mejora la separación de CO₂ en otro separador sólido-líquido 209.

25 De acuerdo con una parte de realización, la corriente 170 de gas natural líquida se mezcla con la corriente 208 multifásica adicional obtenida en la etapa (f2) aguas arriba del separador 209 sólido-líquido adicional de la etapa (f3).

La figura 1b representa esquemáticamente una realización en la que la mezcla se realiza añadiendo la corriente de reciclado 171 a la corriente multifásica adicional 208, por ejemplo, por medio de un combinador.

30 Según una realización, la mezcla de la corriente de gas natural líquido 171 y la corriente multifásica adicional 208 se realiza en un intercambiador de calor de contacto directo 211 adicional.

Esto proporciona una manera eficiente de obtener una corriente parcialmente licuada a partir de una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos.

35 Esta realización se muestra en la figura 1c y tiene la ventaja de que la corriente de reciclado 171 adicional (que tiene una temperatura de aproximadamente -161 °C) reduce la temperatura en el intercambiador de calor de contacto directo 211 adicional, por lo tanto, crea condiciones de congelación de CO₂ más severas y el tiempo de permanencia en el intercambiador de calor de contacto directo 211 adicional permite un crecimiento de sólidos de CO₂ adicional, lo que mejora aún más la separación de CO₂ en el separador sólido-líquido 209 adicional. La bomba 1711 puede proporcionarse para transportar la corriente de reciclado 171.

40 La corriente gaseosa 80 obtenida en el separador 5 que separa la corriente parcialmente licuada 70 para obtener una corriente gaseosa 80 y una corriente líquida 90 en la etapa c, se hace pasar a través del primer intercambiador de calor 3 obteniendo así una corriente gaseosa calentada 270; si se desea, se pueden retirar algunos materiales inertes (tales como N₂) de la corriente gaseosa calentada 270 como una corriente 280 (menor). Como la corriente 80 se usa para enfriar la corriente 30, esta es un etapa de "auto-refrigeración".

45 La corriente gaseosa calentada 270 se comprime en el compresor 13, obteniendo así una corriente de gas comprimido 220. La parte 230 de la corriente de gas comprimido 220 se combina con la corriente de gas 20 contaminado que contiene hidrocarburos.

50 Como se puede ver en las realizaciones mostradas, una parte 240 de la corriente de gas comprimido 220 se hace pasar a través del segundo intercambiador de calor 15 (y se enfría en él) obteniendo así una corriente de gas comprimido 250 enfriado. La corriente de gas comprimido 250 enfriado se expande en el expansor 16, obteniendo así una corriente de gas expandido 260. Posteriormente, la corriente de gas expandida 260 se combina con la corriente gaseosa 80 para formar la corriente 265.

Además, la corriente gaseosa 190 obtenida en la etapa (f) en la etapa adicional de enfriamiento, reducción de presión y separación se hace pasar a través del segundo intercambiador de calor 15 obteniendo así una segunda corriente gaseosa 274 calentada. La segunda corriente gaseosa calentada 274 se comprime en el compresor 14,

obteniendo así una segunda corriente de gas comprimido 210; esta segunda corriente de gas comprimido 210 se combina con la corriente gaseosa calentada 270 (para formar la corriente 215).

Así, según una realización, el método comprende

5 (i) hacer pasar la corriente gaseosa 80 obtenida en la etapa (c) a través del primer intercambiador de calor 3 obteniendo de ese modo una corriente gaseosa 270 calentada; y

(j) comprimir la corriente gaseosa 270 calentada, obteniendo así una corriente de gas comprimido 220; y

(k) combinar la corriente de gas comprimido 220 obtenida en la etapa (j) con la corriente de gas 20 contaminado que contiene hidrocarburos proporcionada en la etapa (a).

10 Según una realización, el método comprende además: enfriar una parte 240 de la corriente de gas comprimido 220 obtenida en la etapa (j) a través de un segundo intercambiador de calor 15, obteniendo de ese modo una corriente de gas comprimido refrigerado 250; expandir la corriente de gas comprimido enfriado 250 obteniendo así una corriente de gas expandida y expandida 260; y combinar la corriente de gas expandida 260 con la corriente gaseosa 80 obtenida en la etapa (c).

15 Entonces, de acuerdo con una realización, el método comprende: hacer pasar la corriente gaseosa 190 obtenida en la etapa (f) a través del segundo intercambiador de calor 15 obteniendo así una segunda corriente gaseosa 274 calentada; comprimir la segunda corriente gaseosa 274 calentada obteniendo así una segunda corriente de gas comprimido 210; y combinar la segunda corriente de gas comprimido 210 con la corriente gaseosa 270 calentada obtenida en la etapa (i).

Según otra realización, el método comprende

20 comprimir una corriente de gas final 181, que comprende la corriente de gas de evaporación rápida final 271 y opcionalmente la corriente de gas separado por evaporación 180 mediante un compresor 272 para obtener una corriente final comprimida de gas de evaporación rápida final 273, y

combinar la corriente comprimida de gas de evaporación rápida 273 con la segunda corriente gaseosa 274 calentada para ser comprimida en el compresor 14, obteniendo así la segunda corriente de gas comprimido 210.

25 La corriente de gas comprimida de evaporación rápida final 273 puede estar a una presión que permita combinarse con la segunda corriente gaseosa 274 calentada, por ejemplo, aproximadamente 4 bar. La segunda corriente de gas comprimido 210 puede estar a una presión de 20 bar.

30 Como se muestra en las Figuras 1a-1c, la corriente de hidrocarburo líquido 170 obtenida en la etapa (g) se almacena en un tanque de almacenamiento 11 de GNL, y la corriente de gas separado por evaporación 180 obtenida de dicho tanque de almacenamiento 11 se combina con la corriente de evaporación rápida final 271 obtenida en la etapa (h).

35 El experto en la materia comprenderá fácilmente que se pueden hacer muchas modificaciones sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, cuando se usa la palabra etapa o etapas, se entenderá que esto no se hace para implicar un orden específico. Los etapas se pueden aplicar en cualquier orden adecuado, incluso simultáneamente.

REIVINDICACIONES

1. Método para licuar una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, comprendiendo el método al menos los etapas de:
- (a) proporcionar una corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos, siendo el contaminante CO₂;
- 5 (b) enfriar la corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos para obtener una corriente parcialmente licuada (70);
- (c) separar la corriente parcialmente licuada (70) en un separador (5) obteniendo así una corriente gaseosa (80) y una corriente líquida (90);
- 10 (d) enfriar la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c) haciendo pasar la corriente líquida (90) a un intercambiador de calor de contacto directo (200) obteniendo así una corriente multifásica (201), conteniendo la corriente multifásica (201) al menos una fase líquida y una fase sólida, conteniendo la fase sólida partículas de CO₂;
- (e) separar la corriente multifásica (201) en un separador sólido-líquido (202) obteniendo de ese modo una corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ y una corriente de suspensión (140) enriquecida en CO₂;
- 15 (f) hacer pasar la corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ a una etapa adicional de enfriamiento, reducción de presión y separación, generando la etapa adicional de enfriamiento, reducción de presión y separación una corriente gaseosa (190), una corriente líquida purificada (205) y una corriente de suspensión (206) adicional enriquecida en CO₂;
- (g) hacer pasar al menos parte de la corriente adicional de suspensión enriquecida en CO₂ (206) al intercambiador de calor de contacto directo (200) para proporcionar un servicio de enfriamiento y mezclar con la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c).
- 20
2. Método según la reivindicación 1, en el que la fase sólida de la corriente multifásica 201 obtenida en la etapa (d) contiene partículas de CO₂ con un tamaño medio mayor que 50 micrómetros, preferiblemente mayor que 100 micrómetros, más preferiblemente mayor que 200 micrómetros o mayor que 350 micrómetros .
- 25
3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el tiempo de permanencia de las moléculas que forman la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c) y las moléculas que forman la al menos parte de la corriente de suspensión (206) enriquecida en CO₂ adicional obtenida en la etapa (f) en el intercambiador de calor de contacto directo (200) es mayor de 10 segundos.
- 30
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que hacer pasar la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c) a un intercambiador de calor de contacto directo (200) comprende hacer pasar la corriente líquida (90) sobre un dispositivo de reducción de presión (6).
5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura de la corriente multifásica (201) obtenida en la etapa (d) es más de 10 °C por debajo del punto de congelación de CO₂.
- 35
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos parte de la corriente de suspensión (206) enriquecida en CO₂ adicional que se hace pasar al intercambiador de calor de contacto directo (200) en la etapa (g) comprende partículas de CO₂ que funcionan como partículas de semillas en el intercambiador de calor de contacto directo (200).
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la presión y la temperatura en el intercambiador de calor de contacto directo (200) se seleccionan de manera que la fase de vapor, la fase líquida y la fase sólida estén presentes simultáneamente.
- 40
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el separador sólido-líquido (202) de la etapa (e) comprende uno o más separadores ciclónicos, uno o más filtros o uno o más recipientes de sedimentación basados en la gravedad.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa (f) comprende
- 45 (f1) hacer pasar la corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ sobre un dispositivo de reducción de presión, como una válvula Joule Thomson (203) y dentro de un separador (204),
- (f2) obtener la corriente gaseosa (190) como corriente superior desde el separador (204) y obtener una corriente multifásica adicional (208) como corriente inferior desde el separador (204), conteniendo la corriente multifásica adicional (208) al menos una fase líquida y un fase sólida, conteniendo la fase sólida partículas de CO₂;
- 50 (f3) separar la corriente multifásica adicional (208) en un separador sólido-líquido (209) adicional, obteniendo así la corriente líquida purificada (205) y la corriente de suspensión (206) enriquecida en CO₂ adicional.

10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el método comprende
- (h) hacer pasar la corriente líquida purificada (205) a una etapa final de evaporación rápida obteniendo una corriente final de evaporación rápida (271) y una corriente líquida de gas natural (170).
- 5 11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que parte de la corriente de gas natural líquido (170) se retroalimenta a la etapa de enfriamiento, reducción de presión y separación de la etapa (f) para proporcionar servicio de enfriamiento a la corriente líquida (141) empobrecida en CO₂.
12. Método según la reivindicación 11, en donde parte la corriente de gas natural líquido (170) se mezcla con la corriente multifásica adicional (208) obtenida en la etapa (f2) aguas arriba del separador sólido-líquido (209) adicional de la etapa (f3).
- 10 13. Método según la reivindicación 12, en donde la mezcla de la corriente de gas natural líquido (171) y la corriente multifásica adicional (208) se realiza en un intercambiador de calor de contacto directo adicional (211).
14. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa (b) comprende
- (b1) enfriar la corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos en un primer intercambiador de calor (3) obteniendo así una corriente contaminado que contiene hidrocarburos enfriados (40);
- 15 (b2) enfriar la corriente contaminado (40, 60) que contiene hidrocarburos enfriados en un expansor (4) obteniendo así la corriente parcialmente licuada (70).
15. Sistema para licuar una corriente de gas contaminado que contiene hidrocarburos, comprendiendo el sistema:
- (a) un conducto de alimentación (20) dispuesto para proporcionar una corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos, siendo el contaminante CO₂;
- 20 (b) una etapa de enfriamiento y expansión (3, 4) dispuesta para recibir la corriente de gas contaminado (20) que contiene hidrocarburos y descargar una corriente parcialmente licuada (70);
- (c) un separador (5) dispuesto para recibir la corriente parcialmente licuada (70) y descargar una corriente gaseosa (80) y una corriente líquida (90);
- 25 (d) un intercambiador de calor de contacto directo (200) dispuesto para recibir y enfriar la corriente líquida (90) obtenida en la etapa (c) para obtener una corriente multifásica (201), conteniendo la corriente multifásica (201) al menos una fase líquida y una fase sólida, conteniendo la fase sólida partículas de CO₂;
- (e) un separador sólido-líquido (202) dispuesto para recibir la corriente multifásica (201) y descargar una corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ y una corriente de suspensión (140) enriquecida en CO₂;
- 30 (f) una etapa adicional de enfriamiento, reducción de presión y separación dispuesta para recibir la corriente líquida (141) empobrecida en CO₂ y generar una corriente gaseosa (190), una corriente líquida purificada (205) y otra corriente de suspensión (206) enriquecida en CO₂;
- (g) un conducto de reciclado (206) que está dispuesto para pasar al menos parte de la corriente adicional (206) de suspensión enriquecida en CO₂ que comprende partículas sólidas de CO₂ al intercambiador de calor de contacto directo (200).

35

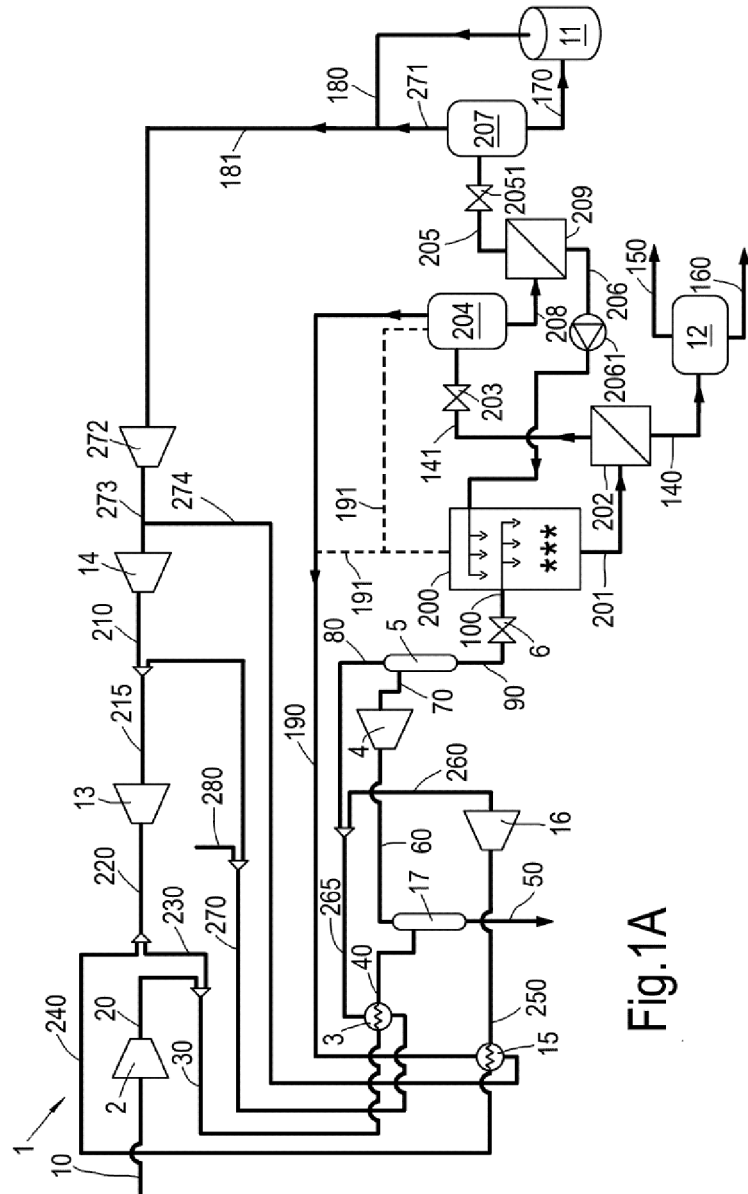


Fig.1A

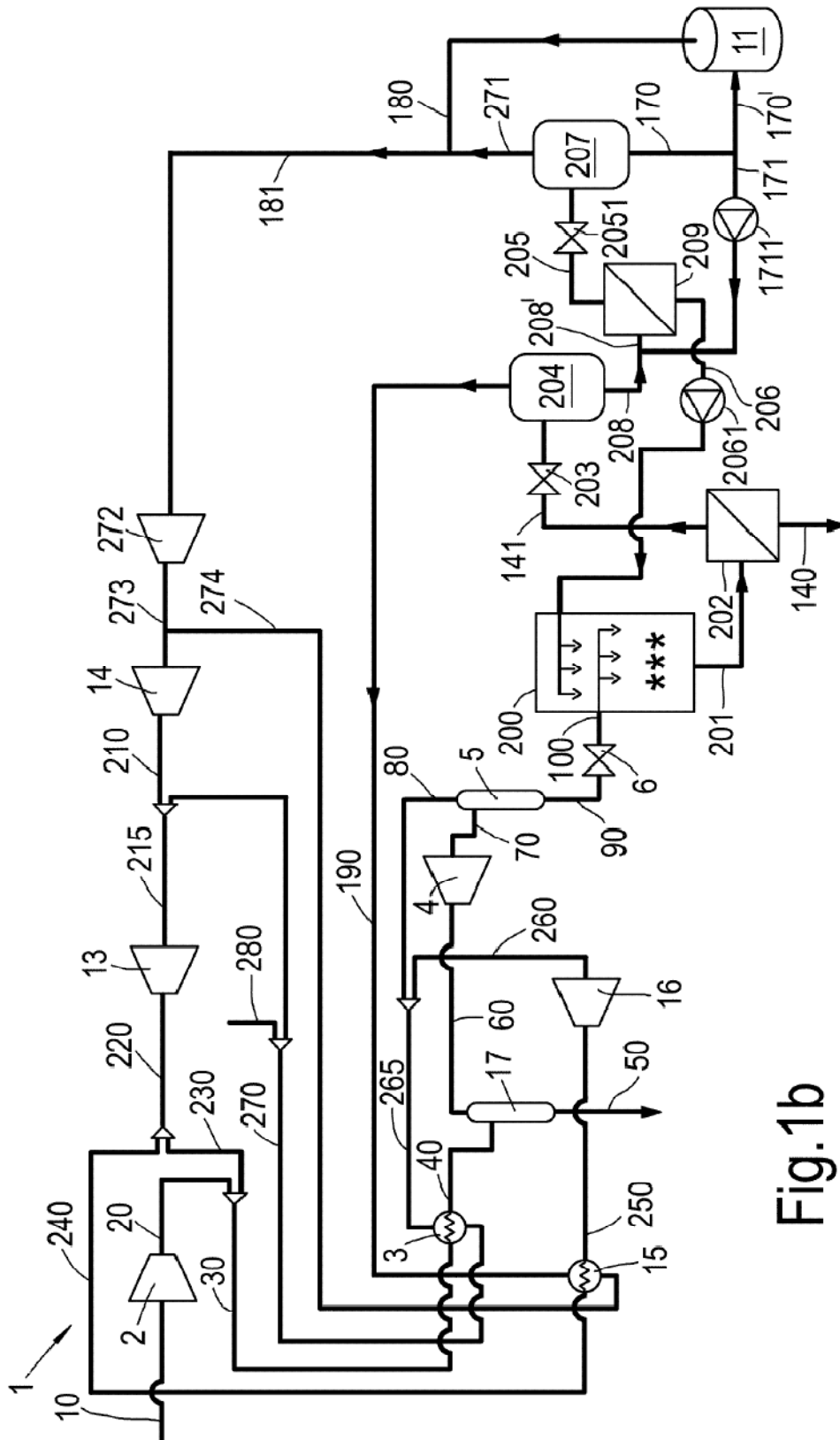


Fig. 1b

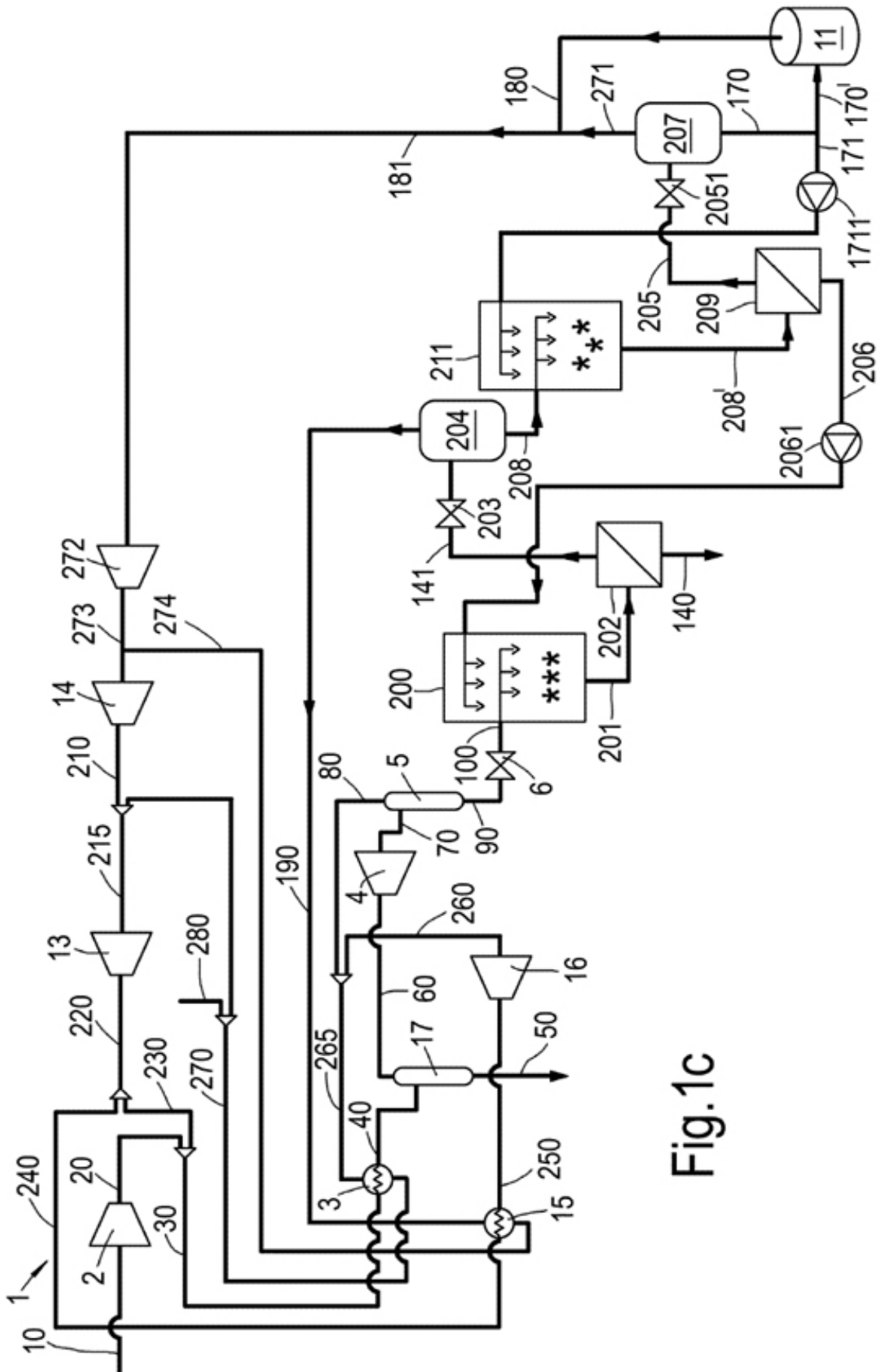


Fig.1C

Fig.2

