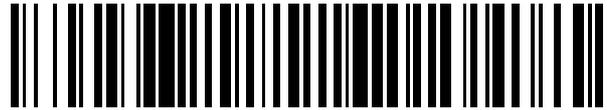


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 414 029**

51 Int. Cl.:

**F17C 9/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.07.2010 E 10730803 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013 EP 2454518**

54 Título: **Método para la gasificación de una corriente líquida de hidrocarburos y un aparato para ello**

30 Prioridad:

**16.07.2009 EP 09165671**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.07.2013**

73 Titular/es:

**SHELL INTERNATIONALE RESEARCH  
MAATSCHAPPIJ B.V. (100.0%)  
Carel Van Bylandtlaan 30  
2596 HR The Hague, NL**

72 Inventor/es:

**BECART, PHILIPPE ROBERT**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 414 029 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 para la gasificación de una corriente líquida de hidrocarburos y un aparato para ello

5 La presente invención proporciona un método para la gasificación de una corriente líquida de hidrocarburos, tal como una corriente de gas natural licuado (GNL), para proporcionar una corriente gaseosa de hidrocarburos, tal como una corriente de gas natural y energía, y un aparato para ello. El aparato y el método son particularmente apropiados para su uso en una instalación de regasificación de GNL.

10 Normalmente, GNL es metano principalmente licuado que contiene cantidades variables de etano, propano y butanos con cantidades de traza de pentanos y componentes de hidrocarburos más pesados. Normalmente, el GNL contiene un bajo contenido de hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos no aromáticos tales como H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y otros compuestos de azufre, debido a que estos compuestos se han eliminado, al menos parcialmente, antes de licuar la corriente de gas natural, que posteriormente se almacena y se transporta en forma líquida.

15 Resulta deseable licuar gas natural por un número de razones. A modo de ejemplo, se puede almacenar el gas natural y transportar grandes distancias en forma líquida más fácilmente que en forma gaseosa, debido a que ocupa un volumen menor. Puede ocurrir que no sea necesario almacenarlo a presiones elevadas. Se puede almacenar dicho gas natural licuado a presión atmosférica si se mantiene a temperatura criogénica, tales como a -160 °C o menos. Alternativamente, se puede almacenar el gas natural licuado a temperaturas por encima de -160 °C si se presuriza por encima de presión atmosférica.

25 Con el fin de regasificar la corriente de GNL, normalmente se presuriza y se vaporiza. Si se desea, se puede añadir una cantidad seleccionada de uno o más componentes adicionales, por ejemplo nitrógeno, para obtener gas natural que tiene una calidad de gas deseada, por ejemplo un valor calorífico deseado (es decir, contenido energético cuando se quema el gas natural), de acuerdo con las especificaciones de gas o los requisitos del consumidor. Además, se puede ajustar el valor calorífico del gas natural para eliminar o añadir una cantidad deseada de hidrocarburos más pesados a partir del gas natural.

30 Un terminal de regasificación de GNL presuriza y vaporiza el GNL de manera que se pueda inyectar el gas natural presurizado en el interior de una red de gas a temperatura ambiente. Aunque están disponibles diferentes tipos de intercambiadores de calor para vaporizar GNL, una opción común es el uso de una fuente de calor ambiental tal como agua de mar. No obstante, la vaporización de GNL frente a una fuente de calor ambiental representa una pérdida de energía. Por ejemplo, por cada 1 MTPA (millón de toneladas métricas al año) de GNL vaporizado, se pierde un flujo térmico de entre 20 y 30 MW. Esto se podría usar para un número de fines prácticos, tal como la generación de energía. Sería deseable si este flujo térmico no utilizado se pudiera aprovechar para generar electricidad, convirtiendo la instalación de regasificación en auto-suficiente en términos de sus requisitos energéticos, de manera que no fuera necesaria la entrada de energía procedente de una red eléctrica externa o la combustión de combustibles de hidrocarburos. Un terminal que no requiere la combustión directa o indirecta de combustibles de hidrocarburos para su operación será neutro en cuanto a dióxido de carbono.

45 El documento WO 2007/011921 divulga un método para generar energía en una instalación de regasificación de GNL que utiliza GNL. En el método divulgado, se usa gas natural como fluido de trabajo donde al menos una parte del gas natural vaporizado se expande en una turbina para producir energía y gas natural vaporizado expandido. El gas natural vaporizado expandido posteriormente se condensa usando frío procedente del gas natural licuado, y posteriormente se combina con gas natural licuado. A continuación, se vaporiza el gas natural condensado y licuado combinado para producir el gas natural vaporizado.

50 El método del documento WO 2007/011921 calienta la parte del gas natural vaporizado usado en la etapa de expansión hasta una temperatura de 232 °C (450 °F) antes de la expansión en la turbina. Aunque se dice que el método divulgado es capaz de generar 5 MW, esto no se puede conseguir usando una fuente de calor ambiental, y se requiere una entrada adicional de energía. Con el fin de calentar el gas natural vaporizado hasta temperaturas de 232 °C, se requiere una fuente de calor tal como gas de combustión de una turbina de gas, una unidad de recuperación de calor residual y/o un calentador caldeado. Todas las fuentes de calor anteriormente mencionadas están basadas, por ejemplo, en la combustión de un combustible de hidrocarburo y, de este modo, se producen emisiones de dióxido de carbono.

60 Un problema de este método de gasificación conocido es que se requiere la combustión de hidrocarburos y de las emisiones asociadas de dióxido de carbono con el fin de producir suficiente energía para satisfacer las necesidades de la instalación de regasificación.

La presente invención busca abordar este problema proporcionando un método para regasificar una corriente líquida de hidrocarburos que sea auto-suficiente en términos de consumo de energía en la operación de estado estacionario y sea neutro en cuanto a dióxido de carbono.

En particular, el método y el aparato de la presente invención pueden generar energía suficiente a partir del proceso de gasificación para operar un terminal de importación de GNL donde se convierte GNL en gas natural para consumo. No es necesario que dicho terminal de importación produzca emisiones de dióxido de carbono que normalmente proceden de la generación de electricidad necesaria para operar el terminal y puede ser neutro en cuanto a emisiones de dióxido de carbono, como resultado de la generación de energía procedente de la gasificación de GNL.

Resulta deseable minimizar las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la instalación, y más preferentemente eliminar dichas emisiones completamente para proporcionar un método de regasificación de "emisiones cero de dióxido de carbono". Dicha instalación sería autónoma en términos de sus requisitos energéticos y generaría créditos de carbono como resultado de su generación de energía libre de dióxido de carbono.

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para la gasificación de una corriente líquida de hidrocarburos para proporcionar una corriente gaseosa de hidrocarburos y energía, comprendiendo el método al menos las etapas de:

- (a) presurizar una corriente líquida de hidrocarburos a una presión de alimentación para proporcionar una corriente de hidrocarburos líquida presurizada a una presión de recuperación en frío;
- (b) someter la corriente de hidrocarburos líquida presurizada a intercambio de calor frente a una o más corrientes de reciclaje de vapor para proporcionar una corriente de hidrocarburos líquida calentada y una o más corrientes de reciclaje licuadas;
- (c) hacer pasar una o más corrientes de reciclaje licuadas, tras la presurización si fuese necesaria, a una o ambas de la corriente líquida de hidrocarburos y la corriente de hidrocarburos licuada presurizada;
- (d) presurizar una o más partes de la corriente de hidrocarburos líquida calentada para proporcionar una o más corrientes de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a una presión de tubería mínima o más elevada;
- (e) vaporizar una o más de las corrientes de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a la presión de tubería mínima o más elevada, frente a una o más fuentes de calor para proporcionar una o más corrientes gaseosas de hidrocarburos, al menos una de las cuales está a la presión de tubería mínima o más elevada;
- (f) expandir dinámicamente al menos una parte de al menos una o más corrientes gaseosas de hidrocarburos para proporcionar energía y una o más corrientes de hidrocarburos gaseosas expandidas, donde al menos una parte de dicha una o más corrientes de hidrocarburos gaseosas expandidas forma al menos una parte de una o más corrientes de reciclaje de vapor.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato para la gasificación de una corriente líquida de hidrocarburos para proporcionar una corriente gaseosa de hidrocarburos y energía, comprendiendo dicho aparato al menos:

- una bomba de corriente líquida de hidrocarburos para presurizar una corriente líquida de hidrocarburos a una presión de alimentación para proporcionar una corriente de hidrocarburos licuada y presurizada a una presión de recuperación en frío;
- un intercambiador de calor de corriente de hidrocarburos para someter a intercambio térmico la corriente de hidrocarburos líquida y presurizada frente a una o más corrientes de reciclaje de vapor para proporcionar una corriente de hidrocarburos líquida calentada y una o más corrientes de reciclaje licuadas;
- una bomba de corriente de hidrocarburos calentada para presurizar una o más partes de la corriente de hidrocarburos líquida y calentada para proporcionar una o más corrientes de hidrocarburo líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a una presión de tubería mínima o más elevada;
- una fuente de calor para vaporizar una o más de las corrientes de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a una presión de tubería mínima o más elevada, para proporcionar una o más corrientes gaseosas de hidrocarburos;
- una turbina de reciclaje para expandir dinámicamente al menos una parte de al menos una o más de las corrientes gaseosas de hidrocarburos para accionar un eje y proporcionar una o más corrientes de hidrocarburos gaseosas expandidas, al menos una parte de las cuales forma al menos una parte de una o más corrientes de reciclaje de vapor; y
- uno o más dispositivos de mezcla de corriente de hidrocarburos para introducir una o más corrientes de reciclaje licuadas, o una corriente procedente de las mismas, en la corriente líquida de hidrocarburos o la corriente de hidrocarburos licuada y presurizada.

Una ventaja principal de la presente invención es que el método y el aparato operan a dos niveles de presión. Se lleva a cabo una etapa de presurización inicial (a) para aumentar la presión de la corriente líquida de hidrocarburos desde una presión de alimentación para proporcionar una corriente de hidrocarburos líquida y presurizada a una presión de recuperación en frío.

La presión de recuperación en frío es la presión usada para llevar a cabo el intercambio de calor de la corriente de

hidrocarburos líquida y presurizada frente a la corriente de reciclaje de vapor. Este intercambio de calor calienta la corriente líquida de hidrocarburos y licua la corriente de reciclaje de vapor.

5 Posteriormente, se lleva a cabo una segunda presurización de la corriente de hidrocarburos líquida y calentada en la etapa (d) para llevar la presión de al menos una parte de esta corriente hasta una presión de tubería mínima o más elevada. La presión de tubería mínima puede ser la presión de la red de gas natural a la cual se tiene que suministrar el gas natural vaporizado.

10 La segunda etapa de presurización (d) permite que el intercambio de calor de la etapa (b) se lleve a cabo a cualquier presión deseada ("recuperación en frío") por encima de la presión de alimentación. Esto permite el uso de una presión óptima de recuperación en frío de GNL en el intercambio de calor. En particular, la capacidad calorífica específica de GNL disminuye con la presión, de manera que GNL a presiones bajas puede proporcionar una capacidad de enfriamiento adicional en comparación con una composición idéntica a una presión más elevada. Por tanto, resulta deseable llevar a cabo el intercambio de calor de la etapa (b) a una presión de recuperación en frío que sea menor que la presión de tubería mínima, con el fin de proporcionar un enfriamiento óptimo a una o más de las corrientes de reciclaje de vapor de la etapa (b).

20 Se ha encontrado que las presiones de recuperación en frío de menos de 60 bar son particularmente ventajosas. Dichas presiones pueden ser significativamente menores que la presión de tubería mínima, que puede ser de un exceso de 60 bar, y comúnmente hasta 85 bar en algunos países. El hecho de llevar a cabo la etapa (b) de intercambio de calor a una presión menor que la presión de tubería también es ventajoso ya que se puede diseñar el intercambiador de calor para que opere a dichas presiones más bajas, reduciendo CAPEX. Preferentemente, la presión de recuperación en frío es menor que la presión crítica de la corriente de hidrocarburos presurizada con el fin de retener la capacidad de calor latente del hidrocarburo para el intercambio de calor. Según se usa en la presente memoria, la expresión "presión crítica" es la presión de la corriente de hidrocarburos presurizada (o cualquier otra corriente apropiada) a la cual deja de existir la frontera de fase entre los estados gaseoso y líquido.

25 Por el contrario, la divulgación del documento WO 2007/011921 requiere el bombeo de GNL a la presión de tubería antes del intercambio de calor frente al gas natural vaporizado expandido (corriente de reciclaje de vapor). Esto significa que el intercambio de calor de GNL para licuar el gas natural vaporizado expandido se debe llevar a cabo a la presión de exportación del gas natural (presión de tubería mínima). Esto no proporciona ninguna flexibilidad de la presión de GNL durante la etapa de intercambio de calor con el gas natural vaporizado expandido, evitando la optimización de la eficacia de la etapa de intercambio de calor.

30 Además, la etapa (c) de la presente invención añade la corriente de reciclaje licuada a la corriente líquida de hidrocarburos o a la corriente de hidrocarburos líquida y presurizada. Esta combinación de corrientes licuadas ocurre aguas arriba de la etapa (b) de intercambio de calor, de manera que se puede usar la energía fría proporcionada para licuar la corriente de reciclaje de vapor con el fin de licuar más el vapor de gas natural.

35 Por el contrario, la divulgación del documento WO 2007/011921 muestra que el gas natural vaporizado expandido y condensado se combina con el GNL aguas abajo de la etapa de intercambio de calor, de manera que no se utiliza la operación de enfriamiento del gas natural vaporizado expandido condensado en la condensación de la corriente de gas natural vaporizado expandido, lo que conduce a un uso menos eficaz de la energía fría del GNL.

40 Se usa la expansión dinámica de al menos una parte de al menos una o más de las corrientes gaseosas de hidrocarburos de la etapa (f) para generar energía. Es preferible que la corriente gaseosa de hidrocarburos se expanda hasta una presión de entre 10 y 30 bares en una turbina.

45 Preferentemente, la energía producida se genera en forma de energía eléctrica. La generación de energía eléctrica es ventajosa porque se puede exportar cualquier electricidad en exceso no necesaria para operar la instalación de gasificación a otras unidades de procesado o a una red externa de electricidad, tal como la red pública de electricidad. Si se genera la energía en forma de energía mecánica, puede resultar necesario un sistema de transmisión para operar las bombas usadas en la instalación.

50 Las fuentes de calor usadas en la presente memoria, incluyendo cualesquiera de las corrientes de hidrocarburos generadas en el método de gasificación que se usan como fuentes de calor, preferentemente tienen una temperatura más elevada que la temperatura de la corriente que se pretende calentar. Preferentemente, la fuente de calor tiene una temperatura mayor de -40 °C, más preferentemente mayor de -30 °C, todavía más preferentemente dentro del intervalo de 0 a 30 °C. En una realización preferida, el límite superior de temperatura de la fuente de calor es sustancialmente la temperatura ambiente. Una o más fuentes de calor pueden ser, por ejemplo, una o ambas de las fuentes de calor ambientales tales como aire ambiental o agua ambiental, y cualquier corriente de hidrocarburos generada en el método de gasificación. No obstante, es posible integrar la fuente de calor con la de la planta de energía combinada.

65 Ahora se describirán realizaciones de la presente invención a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos no limitantes en los cuales:

La Figura 1 es un esquema de diagrama de un método y un aparato para gasificar una corriente líquida de hidrocarburos de acuerdo con una primera realización;

La Figura 2a es un esquema de diagrama de un método y un aparato para gasificar una corriente líquida de hidrocarburos de acuerdo con una segunda realización;

La Figura 2b es un esquema de diagrama de un método y un aparato para gasificar una corriente líquida de hidrocarburos de acuerdo con una tercera realización;

La Figura 3 es un esquema de diagrama de un método y un aparato para gasificar una corriente líquida de hidrocarburos de acuerdo con una cuarta realización; y

La Figura 4 es un esquema de diagrama de un método y un aparato para gasificar una corriente líquida de hidrocarburo de acuerdo con una quinta realización.

Para la finalidad de la presente descripción, se asignará un número de referencia individual a una tubería así como también a una corriente transportada por esa tubería. Los números de referencia iguales usados en Figuras diferentes representan corrientes y tuberías idénticas.

Como se ha comentado anteriormente, con frecuencia resulta deseable licuar composiciones de hidrocarburos, tal como gas natural ya que se puede almacenar de manera más conveniente y se puede transportar largas distancias en forma líquida más sencillamente que en forma gaseosa. Posteriormente, se puede regasificar el gas natural licuado en el destino deseado y se puede hacer pasar, bajo presión, a una red de gas.

Haciendo referencia a los dibujos, la Figura 1 muestra un método y un aparato 1 para la gasificación de una corriente 5 líquida de hidrocarburos. La corriente 5 líquida de hidrocarburos puede comprender un hidrocarburo o mezcla de hidrocarburos, tal como una corriente de gas natural licuado, o una composición sintética de hidrocarburos, tal como la proporcionada por medio de la reacción de un gas de síntesis en un proceso de Fischer-Tropsch. Se puede proporcionar el gas natural licuado por medio del tratamiento y licuado de gas natural de forma conocida en la materia.

Se proporciona la corriente 5 líquida de hidrocarburos a una presión de alimentación. Convencionalmente, se almacena el hidrocarburo líquido, tal como gas natural licuado, en condiciones criogénicas. Se puede presurizar el gas licuado a temperaturas por debajo de 0 °C o a una temperatura de aproximadamente -160 °C y a presión atmosférica o próxima a ella. Este almacenamiento se comenta con más detalle en relación con la Figura 2a. La presión de alimentación de la corriente 5 líquida de hidrocarburos dependerá de la presión a la cual se bombea la corriente para transportarla hasta el aparato de gasificación 1. Preferentemente, la presión de alimentación es menor de 8 bar, y más preferentemente dentro del intervalo de 1 a menos de 8 bar.

En la etapa (a), se hace pasar la corriente 5 líquida de hidrocarburos a la presión de alimentación a una bomba 10 de corriente líquida de hidrocarburos, donde se presuriza para proporcionar una corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada a una presión más elevada que la presión de alimentación. Preferentemente, la bomba 10 de corriente líquida de hidrocarburos es una bomba eléctrica. Se pretende aumentar la presión de la corriente 5 líquida de hidrocarburos hasta una presión a la cual se tiene que llevar a cabo la etapa posterior de intercambio de calor - la "presión de recuperación en frío". Preferentemente, la presión de recuperación en frío está dentro del intervalo de 8 a menos de 50 bar, más preferentemente dentro del intervalo de 8 a menos de 40 bar, incluso más preferentemente dentro del intervalo de 8 a menos de 30 bar.

Posteriormente, se hace pasar la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada a un intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos de la etapa (b), donde se calienta frente a una o más corrientes 115 de reciclaje de vapor, para proporcionar una corriente 35 líquida de hidrocarburos y una o más corrientes 125 de reciclaje licuadas. En la realización que se muestra en la Figura 1, únicamente se muestran una corriente 115 de reciclaje de vapor individual y una corriente 125 de reciclaje licuada, aunque pueden estar presentes dos, tres o cuatro o más de cada una de las corrientes. Cuando hay dos o más corrientes 115 de reciclaje de vapor, estas corrientes se proporcionan ventajosamente a diferentes presiones. Esta realización se comenta con más detalle en relación con la realización de la Figura 3.

El intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos puede estar seleccionado entre una cubierta y tubo, una placa y aleta y un intercambiador de calor de circuito impreso. Es importante que la temperatura de la corriente 15 de hidrocarburos líquida y presurizada en la presión de recuperación en frío no aumente por encima del punto de burbujeo (es decir, la temperatura a la cual la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada produce por primera vez burbujas de vapor) de la composición durante el intercambio de calor, con el fin de garantizar que la corriente permanece líquida, más preferentemente completamente líquida. Esto es porque es más difícil y menos eficaz comprimir una corriente de vapor/líquido de multifase que una corriente líquida de fase individual.

El requisito de que la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada permanezca líquida en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos establece un límite superior sobre la operación de enfriamiento disponible a partir de la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada a una presión particular de reciclaje en frío. Similarmente, es importante que se proporcione un enfriamiento suficiente a la corriente 115 de reciclaje de vapor

para licuar, preferentemente licuar completamente, la corriente 115 de reciclaje de vapor, de manera que se establezca un límite superior a la cantidad de corriente de reciclaje de vapor que se puede licuar.

5 La corriente 35 de hidrocarburos líquida calentada abandona el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos y se hace pasar una o más partes a una bomba 40 de corriente de hidrocarburos calentada. Preferentemente, la bomba 40 de corriente de hidrocarburos calentada es una bomba eléctrica. Es preferible que toda la corriente 35 de hidrocarburos líquida y calentada se haga pasar a la bomba 40 de corriente de hidrocarburos calentada. La bomba 40 de corriente de hidrocarburos calentada presuriza una o más partes de la corriente 35 de hidrocarburos líquida y calentada para proporcionar una o más corrientes 45 de hidrocarburos líquidas y calentadas, al menos una de las cuales está a una presión de tubería mínima o más elevada. La Figura 1 muestra una corriente 10 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada, que estará a una presión de tubería mínima o por encima de ella.

15 La parte o partes de la(s) corriente(s) 45 de hidrocarburos líquida(s) calentada(s) y presurizada(s), a la presión de tubería mínima o más elevada, se puede(n) gasificar y hacer pasar a un dispositivo de consumo de gas. De este modo, la "presión de tubería mínima" es la presión de tubería requerida del dispositivo de consumo del hidrocarburo vaporizado, tal como una red de gas. Esta etapa de presurización garantiza que la parte o partes de la corriente 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada que se pretende que proporcione el gas de red esté/estén a una presión igual o mayor que la presión de tubería de la red de gas. Resulta significativamente más eficaz, desde el punto de vista energético, presurizar una corriente líquida hasta la presión de tubería o por encima de ella que a la correspondiente a la corriente gaseosa evaporada. 20

25 Se puede hacer pasar una o más de las corrientes 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada, al menos una de las cuales está a la presión de tubería mínima o más elevada, a uno o más de los calentadores 50 de corriente de hidrocarburos. Los calentadores 50 de corriente de hidrocarburos se suministran con una o más fuentes de calor 345 para vaporizar el hidrocarburo líquido calentado y presurizado. Preferentemente, una o más fuentes de calor 345 tienen una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente, tal como fuentes de aire ambiental o agua ambiental, tal como una corriente de agua de mar. Los calentadores 50 de corriente de hidrocarburos producen una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos, al menos una de las cuales estará a la presión de tubería mínima o más elevada, y una fuente 355 de calor enfriada, tal como una corriente de aire frío o agua fría, tal como agua de mar. En una realización preferida, el calentador 50 de corriente de hidrocarburos es un vaporizador de rejilla abierta (ORV). 30

35 En algunos casos, el límite de presión superior al cual se puede(n) bombear la(s) corriente(s) 35 de hidrocarburos líquida(s) y calentada(s) viene determinado por la presión de operación máxima del calentador 50 de corriente de hidrocarburos. Comúnmente, los vaporizadores de rejilla abierta tienen una presión de operación máxima de 140 a 150 bar. Es preferible que la presión de la(s) corriente(s) 45 de hidrocarburos líquida(s) calentada(s) y presurizada(s), que se encuentra(n) a una presión de tubería mínima o más elevada, esté entre la presión de tubería mínima y 140 bar.

40 En una realización preferida, se presuriza la corriente 35 de hidrocarburos líquida calentada para proporcionar la corriente 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada en forma de corriente supercrítica de hidrocarburos. Bajo condiciones supercríticas, la corriente 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada pierde su capacidad calorífica latente de manera que se puede calentar más fácilmente.

45 Un dispositivo 60 de separación de la corriente gaseosa de hidrocarburos puede separar al menos una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos en dos o más partes 55a, 55b. La Figura 1 muestra la separación de un corriente 55 gaseosa de hidrocarburos individual, que está a la temperatura de tubería mínima o por encima de ella, en dos partes, una primera parte 55a y una segunda parte 55b.

50 La segunda parte, 55b, se puede hacer pasar a los dispositivos de consumo del hidrocarburo gaseoso. Si esta se proporciona por encima de la presión de tubería mínima, entonces se puede reducir la presión de la corriente por medio de un dispositivo de expansión apropiado. La realización de la Figura 2a proporciona un ejemplo de dicha reducción de presión que usa una turbina para generar energía adicional.

55 La primera parte, 55a, se hace pasar a una turbina de reciclaje 110, donde se expande dinámicamente para proporcionar una o más corrientes 115 gaseosas de hidrocarburo expandidas. La Figura 1 muestra una corriente 115 de hidrocarburo gaseosa expandida e individual.

60 La turbina de reciclaje 110 convierte el trabajo útil liberado por la expansión dinámica de la primera parte, 55a de la corriente 55 gaseosa de hidrocarburo en energía cinética para hacer girar el eje 112 del generador eléctrico 120. El generador eléctrico puede proporcionar energía eléctrica para satisfacer las necesidades de la instalación de gasificación.

65 En una realización alternativa no mostrada en la Figura 1, se pueden proporcionar dos o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos por medio de uno o más calentadores 50 de corriente de hidrocarburos. Se puede hacer pasar una primera corriente gaseosa de hidrocarburos, que está a la presión de tubería o por encima de ella, a una red de gas, al tiempo que se puede hacer pasar una segunda corriente gaseosa de hidrocarburos a la turbina de reciclaje para la

expansión dinámica.

Volviendo a la realización de la Figura 1, se puede proporcionar una o más corrientes 115 gaseosas de hidrocarburos expandidas producidas por medio de la turbina de reciclaje 110 a una o más presiones de expansión. Una o más presiones de expansión deberían ser menores que la presión de succión de una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos pasadas a la turbina.

La energía que se puede generar a partir de la turbina de reciclaje 110 depende, entre varios factores, de la relación de presión de la turbina, es decir, la relación de la presión de la corriente 115 de hidrocarburos gaseosa expandida con respecto a la presión de la parte 55a de una o más corrientes gaseosas de hidrocarburos enviadas a la turbina de reciclaje 110. La expansión de gas es más eficiente a presiones menores del intervalo supercrítico, de manera que se prefieren presiones de succión dentro del intervalo de 60 a 80 bar.

Se hacen pasar una o más corrientes 115 de hidrocarburos gaseosas expandidas al intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos en forma de al menos una parte de una o más corrientes de reciclaje de vapor. Preferentemente, se proporcionan una o más de las corrientes 115 de reciclaje de vapor completamente a partir de una o más corrientes 115 de hidrocarburos gaseosas expandidas, de manera que la corriente de reciclaje de vapor y la corriente de hidrocarburos gaseosa expandida son una y la misma. Se licuan una o más de las corrientes 115 de reciclaje de vapor en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos frente a la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada para proporcionar una corriente 125 de reciclaje licuada. La Figura 1 muestra el licuado de una corriente 115 de reciclaje de vapor individual para dar una corriente 125 de reciclaje licuada individual.

Si la corriente 125 de reciclaje licuada producida por medio del intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos está a la presión de alimentación de la corriente 5 líquida de hidrocarburos, entonces se puede hacer pasar directamente a la corriente 5 líquida de hidrocarburos. Dicha realización se comenta en relación con la Figura 2a siguiente.

Alternativamente, si las presiones de una o más de las corrientes 125 de reciclaje licuadas están por encima de la presión de alimentación de la corriente 5 de reciclaje de líquido, entonces se pueden hacer pasar a la succión de una o más de las bombas 130 de corriente de reciclaje. Preferentemente, una o más de las bombas 130 de corriente de reciclaje son bombas eléctricas. Una o más de las bombas de reciclaje 130 presurizan una o más de las corrientes 125 de reciclaje licuadas para proporcionar una o más corrientes 135 de reciclaje licuadas presurizadas a la presión de recuperación en frío. Preferentemente, una o más de las corrientes 125 de reciclaje licuadas son corrientes completamente licuadas, debido a que la bomba 130 de corriente de reciclaje puede operar de la manera más eficaz con una corriente líquida de fase individual. En lugar de usar bombas 130 de corriente de reciclaje múltiples, cuando hay más de una corriente 125 de reciclaje licuada, una bomba 130 de corriente de reciclaje de multietapa puede ser más rentable. En la realización mostrada en la Figura 1, se hace pasar una corriente 125 de reciclaje licuada individual a una bomba 130 de corriente de reciclaje individual.

Posteriormente, se pueden combinar las corrientes 135 de reciclaje licuadas presurizadas con la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada, por medio de uno o más dispositivos 20 de mezcla de corriente de hidrocarburos, para proporcionar una corriente 15a de hidrocarburos líquida presurizada, que es una corriente combinada, y se hace pasar al intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos.

Con el fin de maximizar la energía que se puede generar por medio del generador eléctrico 120, se debería maximizar la parte 55a de una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos que se hace pasar a la turbina de reciclaje 110. Posteriormente, se debe licuar una o más de las corrientes 115 gaseosas de hidrocarburos producidas por la turbina de reciclaje 110, de manera que se puedan reciclar. La parte de una o más de las corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos que se puede reciclar depende de la operación de enfriamiento disponible en el intercambiador 30 de calor de la corriente de hidrocarburos a partir de la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada y la energía necesaria para enfriar y licuar la corriente 115 de reciclaje de vapor en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos.

La operación de enfriamiento de la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada depende del cambio de temperatura de la corriente, es decir, del alcance con el cual se calienta en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos, así como también de la capacidad calorífica específica de la corriente.

Tomando una corriente de gas natural licuado como ejemplo de corriente 15 de hidrocarburo licuada presurizada, la capacidad calorífica específica aumenta al disminuir la presión de la corriente. A medida que aumenta la capacidad calorífica específica, también aumentará la capacidad de enfriamiento de la corriente de gas natural licuado. Por ejemplo, la capacidad de enfriamiento del gas natural licuado a 10 bar es de aproximadamente un 1,75% más que la capacidad de enfriamiento a 75 bar. Esto proporciona un efecto significativo en términos de la operación de enfriamiento de esta corriente. De este modo, por este motivo se prefieren presiones de recuperación en frío más bajas.

- El cambio de temperatura de la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada del intercambiador de calor dependerá de la temperatura de la corriente 35 de hidrocarburos líquida calentada. Esta temperatura está relacionada con la presión de trabajo del intercambiador de calor 30. De este modo, cuanto mayor es la temperatura a la cual se calienta la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos, mayor es la presión de recuperación en frío que se requiere. No obstante, como se ha comentado anteriormente, cuanto mayor es la presión, menor es la capacidad calorífica específica de la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada, y de este modo menor es la capacidad de enfriamiento. Por consiguiente, la elección de la presión de recuperación en frío es un equilibrio entre la capacidad calorífica específica del hidrocarburo líquido y el aumento de temperatura del hidrocarburo líquido en el intercambiador de calor 30.
- Otra limitación de la operación de enfriamiento proporcionada por la corriente 15 de hidrocarburos licuada presurizada es que esta corriente debería permanecer en fase líquida con el fin de permitir una presurización eficiente en la bomba 40 de corriente de hidrocarburos calentada.
- La energía requerida para enfriar y licuar la corriente 115 de reciclaje de vapor es una función de la capacidad calorífica específica de la corriente de reciclaje de vapor, la reducción de la temperatura de la corriente en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos, la entalpía de licuado de la corriente de reciclaje de vapor a la presión de descarga de la turbina de reciclaje 110 y la energía de cualquier subenfriamiento.
- De este modo, es posible determinar la proporción máxima de una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos que se pueden expandir y licuar, permitiendo el reciclaje aguas arriba del intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos.
- Dentro de la frontera representada por la parte máxima de una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos que se pueden relicuar de forma final, existe un número de factores que se puede considerar con vistas a maximizar la generación de energía.
- El alcance hasta el cual se pueden expandir una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos a través de la turbina de reciclaje 110 y relicuar en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos depende del grado de expansión que se lleve a cabo en la turbina de reciclaje 110. Cuanto mayor sea la expansión, menor es la presión de la corriente 115 de reciclaje de vapor que pasa al intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos. Cuanto menor es la presión de la corriente 115 de reciclaje de vapor, menor es la temperatura a la cual se licuará en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos.
- No obstante, la capacidad de la corriente 15 líquida de hidrocarburos para licuar la corriente 115 de reciclaje de vapor depende principalmente de la diferencia de presión.
- Una relación de la presión de recuperación en frío con respecto a la presión de la corriente 115 de reciclaje de vapor dentro del intervalo de 2 a 3 es ventajosa, ya que proporciona una curva de enfriamiento neta para la corriente 115 de reciclaje de vapor.
- Por ejemplo, cuando el hidrocarburo líquido es GNL, la presión de recuperación en frío es de 20 bar, y la presión de la corriente 115 de reciclaje de vapor es de 7 bar, la relación de separación, es decir, el alcance hasta el cual se puede reciclar el hidrocarburo líquido después de la vaporización puede ser de aproximadamente un 27%, es decir, se puede hacer pasar un 27% en peso de una o más de las corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos a la turbina de reciclaje 110 para la producción de energía y posteriormente se puede relicuar en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos y se puede retornar aguas arriba del intercambiador de calor. En este caso, se puede expandir aproximadamente un tercio del flujo.
- No obstante, debería apreciarse que puede ocurrir que el método divulgado en la presente memoria no tenga un punto óptimo individual. Existe un intervalo para la expansión de la parte 55a reciclada primera de una o más corrientes gaseosas de hidrocarburos de entre 5 y 45 bar, con una relación de separación para la parte de la corriente objeto de reciclaje 55a de entre un 15% (a 5 bar) y un 65% (a 45 bar). La optimización dependerá de la composición de la corriente líquida de hidrocarburos, su temperatura, así como otros factores tales como el enfoque de temperatura en el interior del intercambiador de calor de la corriente de hidrocarburos entre la corriente líquida de hidrocarburos y la corriente de reciclaje de vapor.
- De este modo, por ejemplo, una planta de regasificación con un diseño de 5 millones de toneladas métricas al año (MTPA) (es decir, la producción de la parte segunda 55b de una o más corrientes 55 gaseosas de hidrocarburos), sería más rentable proporcionar una corriente 115 de reciclaje de vapor que se ha expandido en un intervalo de baja presión y provista de un caudal pequeño, a la corriente de reciclaje, con el fin de minimizar el tamaño del intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos y de la turbina de reciclaje 110, con los correspondientes ahorros de CAPEX.
- La Figura 2a muestra realizaciones adicionales del método y del aparato divulgados en la presente memoria. En una de dichas realizaciones, se proporciona la corriente 5 líquida de hidrocarburos a partir de un tanque de

almacenamiento 400, por medio de bombeo de una corriente 405 de alimentación de hidrocarburos líquida con una bomba de alimentación 410, tal como una bomba sumergida. Preferentemente, la bomba de alimentación 410 es una bomba eléctrica. La bomba de alimentación 410 proporciona una corriente 415 de hidrocarburos líquida bombeada, que se puede hacer pasar a través de una válvula de alimentación 420, para proporcionar un corriente 5 líquida de hidrocarburos a una presión de alimentación.

Normalmente, el hidrocarburo líquido se almacena en un tanque 400 en condiciones criogénicas. Por ejemplo, cuando el hidrocarburo líquido es gas natural licuado, se puede almacenar a temperaturas de menos de  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un tanque aislado térmicamente. Durante el almacenamiento en dichas condiciones criogénicas, el hidrocarburo líquido puede estar a presión atmosférica o a una presión próxima a ella, tal como de aproximadamente 1 bar.

Las variaciones de temperatura durante el almacenamiento pueden dar como resultado la vaporización de parte del hidrocarburo licuado en forma de vapor de gas de hidrocarburo, también denominado gas de evaporación. Se puede extraer dicho vapor de gas de hidrocarburo a partir de la parte superior del tanque de almacenamiento 400 o de una zona próxima a ella, en forma de corriente 455 de gas de evaporación y se puede hacer pasar al lado de succión de un compresor 460 de gas de evaporación. El compresor 460 de gas de evaporación se puede accionar mecánicamente por medio de un accionador 470 de compresor de gas de evaporación, tal como un accionador eléctrico alimentado por electricidad generada por medio del generador 120 eléctrico de corriente de reciclaje.

El compresor 460 de gas de evaporación comprime la corriente 455 de gas de evaporación para proporcionar una corriente 465 de gas de evaporación comprimida. El calor de compresión se puede eliminar posteriormente de la corriente 465 de gas de evaporación comprimida, y ésta se puede condensar en un condensador 480 de gas de evaporación. El condensador 480 de gas de evaporación proporciona una corriente 485 de gas de evaporación licuada, que se puede retornar al tanque de almacenamiento 400. Se puede condensar la corriente 465 de gas de evaporación comprimida frente a una corriente licuada de hidrocarburos (no mostrada), por ejemplo una corriente licuada de hidrocarburos extraída del tanque 400.

Con respecto a la formación de gasificación mostrada en la Figura 2a, ésta difiere de la de la Figura 1 en que se proporciona un calentador adicional 70 opcional para calentar la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos frente a una fuente de calor para proporcionar una corriente 55c gaseosa de hidrocarburos (calentada) antes de hacerla pasar al dispositivo 60 de separación de corriente de hidrocarburos gaseosa. Preferentemente, la fuente de calor tiene una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente, tal como una fuente de aire ambiental o agua ambiental, tal como una corriente de agua de mar o una corriente de hidrocarburos producida en el proceso de gasificación. El calentador opcional 70 es ventajoso si la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos se produce a una temperatura demasiado baja para una parte, 55e, que se tiene que hacer pasar a los dispositivos de consumo de gas. Por ejemplo si se proporciona la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  o por debajo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , podría requerirse un calentamiento adicional para evitar la condensación de vapor de agua sobre la tubería asociada.

Un dispositivo 60 de separación de corriente gaseosa de hidrocarburos proporciona una primera parte 55d de la corriente 55c gaseosa de hidrocarburos (calentada) para la expansión dinámica y la generación de energía de la turbina de reciclaje 110.

La realización de la Figura 2a muestra otro aspecto opcional del método y del aparato donde se hace pasar una segunda parte 55e de la corriente 55c gaseosa de hidrocarburos (calentada) a la succión de una turbina de tubería 80. La turbina de tubería 80 expande dinámicamente la segunda parte 55e de la corriente 55c gaseosa de hidrocarburos (calentada) para proporcionar una corriente 85 de hidrocarburos gaseosa expandida. El trabajo útil extraído de la segunda parte 55e de la corriente 55c se usa para accionar mecánicamente un generador 82 eléctrico de tubería por medio de un eje 81 para producir energía eléctrica.

Si se requiere, se puede hacer pasar la corriente 85 de hidrocarburos gaseosa expandida a un calentador adicional 87, donde se puede calentar hasta, por ejemplo,  $10\text{-}15\text{ }^{\circ}\text{C}$  con el fin de compensar cualquier enfriamiento resultante de la expansión en la turbina 80 de corriente de hidrocarburos. El calentador adicional 87 proporciona una corriente 95 de tubería de hidrocarburos gaseosa que se puede hacer pasar hasta los dispositivos de consumo de gas de hidrocarburos. El calentador adicional 87 puede estar provisto de una fuente de calor, tal como una fuente de calor ambiental, que tiene un temperatura menor o igual que la temperatura ambiente. La fuente de calor puede ser una o más de una fuente de aire ambiental, una fuente de agua ambiental tal como una corriente de agua de mar, y una corriente de hidrocarburos producida en el proceso de gasificación.

La turbina 80 de corriente de hidrocarburo opcional es ventajosa cuando se bombea la corriente 35 de hidrocarburos líquida calentada hasta una presión por encima de la presión de tubería por medio de la bomba 40 de corriente de hidrocarburos calentada. En dicha situación, se proporcionaría la segunda parte 55e de la corriente 55c gaseosa de hidrocarburos (calentada) a una presión por encima de la presión de la tubería, y de este modo requeriría una reducción de presión antes de hacerla pasar a la red de gas. De este modo, se puede usar la reducción de presión de la segunda parte 55e de la corriente 55c para generar energía adicional. Se puede bombear la corriente 35 de hidrocarburo líquida calentada hasta una presión por encima de la presión de tubería con el fin de proporcionar una presión de succión particular para la turbina de reciclaje 110, que se alimenta con la primera parte 55c de la corriente

55c gaseosa de hidrocarburos (calentada).

La Figura 2b proporciona realizaciones alternativas del método y del aparato 1 divulgados en la presente memoria en las cuales se proporcionan calentadores adicionales 90, 140 para calentar las partes primera y segunda 55a, 55b de la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos. Preferentemente, se proporcionan calentadores adicionales 90, 140 con fuentes de calor que tienen una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente.

Al contrario que la realización de la Figura 2a, en la cual se proporciona un calentador adicional 70 individual para calentar la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos aguas arriba del dispositivo 60 de separación de corriente gaseosa de hidrocarburos, se proporcionan calentadores adicionales 90, 140 en cada una de las corrientes de parte 55a, 55b de manera que se pueda ajustar individualmente la temperatura de cada corriente. Resultará evidente para la persona experta que, según se requiera, puede estar presente solo uno o varios de estos calentadores adicionales 90, 140 opcionales.

De este modo, se puede calentar la primera parte 55a de la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos por medio del calentador adicional 140 que preferentemente tiene una fuente de calor que tiene una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente, para proporcionar una primera parte 55f (calentada) de corriente 55 gaseosa de hidrocarburos a la turbina de reciclaje 110. Esto puede ser ventajoso a la hora de controlar la temperatura de succión de la corriente que se pretende expandir en la turbina de reciclaje 110 con el fin de mantener una operación eficiente.

Similarmente, se puede calentar la segunda parte 55b de la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos en un calentador opcional 90 para proporcionar una corriente 55a de tubería de hidrocarburos gaseosa. El calentador adicional 90 opcional es ventajoso si la segunda parte 55b de la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos está demasiado fría para hacerla pasar a la red de gas, y es preciso calentarla antes de la distribución.

En otra realización opcional mostrada en la Figura 2b, la corriente 125 de reciclaje licuada, producida por medio de licuado de la corriente 115 de reciclaje de vapor frente a la corriente 15 de hidrocarburos líquida presurizada, se hace pasar directamente a la corriente 5 líquida de hidrocarburos a través de un dispositivo 20a de mezcla de corriente de hidrocarburos para proporcionar una corriente 5a líquida de hidrocarburos (combinada). Esta formación se puede usar cuando la turbina de reciclaje 110 proporciona una corriente 115 de hidrocarburos gaseosa expandida (corriente de reciclaje de vapor) a la presión de alimentación de la corriente 5 líquida de hidrocarburos.

En este caso, no existe requisito de una bomba de corriente de reciclaje para presurizar la corriente 125 de reciclaje licuada hasta la presión de recuperación en frío, de manera que se pueda combinar con la corriente 15 de hidrocarburos licuada presurizada.

Aunque se tendrían que aumentar los requisitos energéticos de la bomba 10 de corriente líquida de hidrocarburos para manipular la corriente 5a de hidrocarburos licuada (combinada), que comprende tanto la corriente 5 de hidrocarburos licuada como la corriente 125 de reciclaje licuada, se proporcionan ahorros de CAPEX debido a que no se requiere bomba de corriente de reciclaje.

La Figura 2c proporciona una realización alternativa del método y del aparato 1 divulgados en la presente memoria en los cuales se hace pasar, en lugar de una parte, toda la corriente 55 gaseosa de hidrocarburos a la turbina de reciclaje 110a para la generación de energía.

En dicha realización, la turbina de reciclaje 110 puede ser una turbina de multietapa. Dicha turbina 110 de reciclaje de multietapa puede proporcionar dos corrientes de descarga, una primera corriente 115a de hidrocarburos gaseosa expandida y una segunda corriente 115b de hidrocarburos gaseosa expandida. La primera corriente 115a de reciclaje expandida puede ser una corriente de presión intermedia que se puede usar para proporcionar el hidrocarburo gaseoso que va a ser exportado. Con el fin de evitar la represurización posterior de la primera corriente 115a de reciclaje expandida, se debería proporcionar a una presión igual o por encima, preferentemente igual, de la presión de tubería. La segunda corriente 115b de hidrocarburos gaseosa expandida puede ser una corriente de presión intermedia que se puede usar como corriente de reciclaje de vapor.

Si la primera corriente 115a de hidrocarburos gaseosa expandida está a la presión de tubería, no se requiere una reducción de presión adicional. Se puede hacer pasar la primera corriente 115a de hidrocarburos gaseosa expandida hasta un calentador adicional 87b, donde se puede calentar, por ejemplo, hasta 10-15 °C, con el fin de elevar la temperatura del gas hasta una temperatura apropiada para la exportación. El calentador adicional 87b puede estar provisto de una fuente de calor que tiene una temperatura menor o igual que la temperatura ambiental. El calentador adicional 87b proporciona una corriente 95b de tubería de hidrocarburo gaseosa que se puede hacer pasar a los dispositivos de consumo de gas de hidrocarburos.

Si la primera corriente 115a de hidrocarburos gaseosa expandida está a una presión por encima de la presión de tubería, se puede expandir más en una turbina de corriente de hidrocarburos (no mostrada) con el fin de generar energía adicional y reducir la presión de esta corriente hasta la presión de tubería para la exportación. Esta realización es menos preferida debido que, de este modo, se requieren dos turbinas.

Se prefiere más el uso de una turbina individual que sería una turbina 110a de reciclaje de multietapa, que proporcionaría la primera corriente 115a de hidrocarburos gaseosa expandida a la presión de tubería, así como la segunda corriente 115b de hidrocarburos gaseosa expandida que se tiene que usar como corriente de reciclaje de vapor. El uso de una turbina individual en la formación mostrada en la Figura 2c proporciona ahorros de CAPEX.

Se puede hacer pasar la segunda corriente 115b de hidrocarburos gaseosa expandida al intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos para el licuado frente a la corriente 15 líquida de hidrocarburos, como se describe en la realización de la Figura 1.

La Figura 3 muestra una realización adicional del método y del aparato 1 divulgados en la presente memoria, donde se licuan corrientes 115 de reciclaje de vapor múltiples, que operan a presiones diferentes, en el intercambiador 30 de calor de corriente de hidrocarburos. La provisión de dos o más corrientes 115 de reciclaje de vapor a diferentes presiones es ventajosa debido a que permite una transferencia térmica mejorada en el intercambiador de calor 30. En particular, se pueden usar las curvas de enfriamiento de corrientes 115 de reciclaje de vapor múltiples para proporcionar una mejor adaptación de la curva de calentamiento de la corriente 15a de hidrocarburos líquida presurizada (combinada).

En un ejemplo de esta formación, la corriente 5 líquida de hidrocarburos puede ser una corriente de gas natural licuado, proporcionada a una presión de alimentación de, por ejemplo, 1 bar, y presurizada hasta una presión de recuperación en frío de, por ejemplo, 30 bar por medio de una bomba 10 de corriente líquida de gas natural. Posteriormente, se combina la corriente 15 de GNL presurizada con una corriente 125 de reciclaje licuada a una temperatura de mezcla de, por ejemplo, -146 °C por medio de un dispositivo 20 de mezcla de corriente de gas natural para proporcionar la corriente 15a de GNL presurizada (combinada) con un flujo másico de, por ejemplo, 50 kg/s. Se hace pasar la corriente 15a de GNL presurizada (combinada) al intercambiador 30 de calor de corriente de gas natural, que puede ser un condensador.

El condensador 30 calienta la corriente 15a de GNL presurizada (combinada) para proporcionar una corriente 35 de GNL calentada a una temperatura de, por ejemplo, -95 °C. Se hace pasar la corriente 35 de GNL calentada a una bomba 40 de corriente de GNL calentada, donde se presuriza hasta una presión de, por ejemplo, 75 bar para proporcionar una corriente 45 de GNL calentada presurizada. Se puede vaporizar la corriente 45 de GNL calentada presurizada en un dispositivo 50 de corriente de GNL con una fuente de calor, por ejemplo hasta una temperatura dentro del intervalo de 10-15 °C para proporcionar una corriente 55 gaseosa de gas natural. Preferentemente, la fuente de calor tiene una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente, y es más preferentemente una fuente de calor ambiental. Por ejemplo, preferentemente el calentador 50 de corriente de GNL es un vaporizador de rejilla abierta.

La corriente 55 gaseosa de gas natural puede tener un flujo másico de, por ejemplo, 50 kg/s, y se hace pasar hasta un dispositivo 60 de separación de corriente gaseosa de gas natural. La corriente 55 gaseosa de gas natural se divide en dos partes. Una primera parte, 55a, se hace pasar a una turbina de reciclaje 110, por ejemplo a un flujo másico de 19 kg/s. Una segunda parte 55b se puede hacer pasar a una red de gas. La segunda corriente estará a la presión de tubería de 75 bar, si se bombea la corriente 45 de GNL calentada presurizada hasta esta presión.

La primera parte 55a de la corriente 55 gaseosa de gas natural se expande dinámicamente en la turbina de reciclaje 110 desde la presión de tubería, por ejemplo de 75 bar. La turbina de reciclaje 110b puede ser una turbina de reciclaje de multietapa. Dicha turbina 110b de reciclaje de multietapa puede proporcionar dos corrientes de descarga, una primera corriente 115c de gas natural gaseosa expandida, por ejemplo con una presión de 25 bar y un flujo másico de 7 kg/s, y una segunda corriente 115d de gas natural gaseosa expandida, por ejemplo con una presión de 10 bar y un flujo másico de 12 kg/s. Posteriormente, se pueden hacer pasar tanto la primera como la segunda corrientes 115a, 115b de gas natural gaseosas expandidas a un condensador 30 para licuado frente a la corriente 15 GNL líquida.

La primera corriente 115c de gas natural gaseosa expandida se puede licuar en el condensador 30, por ejemplo a -115 °C, para proporcionar una primera corriente 125c licuada de reciclaje. La segunda corriente 115d de gas natural gaseosa expandida se puede licuar en un condensador 30, por ejemplo a -130 °C, para proporcionar una segunda corriente 125d licuada de gas reciclaje. La primera corriente 115c de gas natural gaseosa expandida se licuará más fácilmente en el condensador 30 que la segunda corriente 115d, debido que la primera corriente está a una presión más elevada. Por tanto, la primera corriente expandida 115c tendrá una mejor transferencia de calor de temperatura de intercambiador de calor y evitará un enfoque de temperatura interna mínima demasiado bajo para el intercambiador 30.

La primera y segunda corrientes 125c, 125d licuadas de reciclaje se pueden hacer pasar a una bomba 130 de corriente de reciclaje de multietapa en la cual se presurizan, por ejemplo hasta 31 bar, para proporcionar una corriente 135 de reciclaje licuada presurizada, por ejemplo con un flujo másico de 19 kg/s. Posteriormente, se puede mezclar la corriente 135 de reciclaje licuada presurizada con la corriente 15 de GNL presurizada por medio de un dispositivo 20 de mezcla de corriente de gas natural.

La corriente 15 de GNL presurizada está proporcionada por la corriente de GNL 5, que se puede extraer de una fuente de GNL tal como un tanque de almacenamiento. Cuando la corriente de GNL 5 tiene un flujo másico de 31 kg/s, la corriente 15 de GNL presurizada tendrá un flujo másico similar. De este modo, la corriente 15a de GNL presurizada (combinada), que comprende la corriente 15 de GNL presurizada y la corriente 135 de reciclaje licuada presurizada tendrán el flujo másico requerido de 50 kg/s. Por consiguiente, esta realización proporciona una formación en la cual se recicla un 38% en masa (es decir, 19/50 kg/s) del gas natural al condensador 30.

La turbina 110 de reciclaje de multietapa puede producir 2,5 MW/MTPA de energía cuando se usa con los flujos másicos ejemplares, presiones y temperaturas proporcionados en la presente realización. El consumo energético de las bombas 10, 40 y 130 es de 0,4 MW/MTPA en total, de manera que se proporciona una producción neta de energía de 2,1 MW/MTPA. Esto está por encima del umbral energético necesario para proporcionar un terminal de gasificación autónomo y, de este modo, no requeriría ninguna energía externa, o la utilización de ningún combustible para generar energía adicional durante la operación en estado estacionario.

En una realización alternativa no mostrada en la Figura 3, se pueden sustituir una o ambas turbinas 110 de reciclaje de multietapa y se puede sustituir la bomba 130 de corriente de reciclaje de multietapa por dos o más turbinas de reciclaje 110b y dos o más bombas de corriente de reciclaje respectivamente.

La Figura 4 proporciona otra realización del método y del aparato 1 divulgado en la presente memoria. En esta formación, se incorpora un ciclo de Rankine en el proceso de regasificación de acuerdo con la realización de la Figura 1 para aumentar la energía generada. Resultará evidente que dicho ciclo de Rankine se puede usar con cualquier realización divulgada en la presente memoria.

Se pueden añadir uno o más circuitos de Rankine 200 para generar energía adicional a partir de una corriente 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada. La corriente 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada está proporcionada por la bomba 40 de corriente de hidrocarburos calentada, en la cual se ha presurizado hasta una presión de tubería mínima o más elevada. En una realización preferida, la corriente de hidrocarburos líquida calentada presurizada se calienta hasta una presión supercrítica, por ejemplo dentro del intervalo de 65 a 85 bar.

Antes de la vaporización en uno o más calentadores 50 de corriente de GNL, se puede hacer pasar la corriente 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada a un intercambiador 210 de calor de fluido de trabajo, donde se calienta frente a una corriente 245 de fluido de trabajo vaporizada expandida en el circuito de Rankine 200, para proporcionar una corriente 45a de hidrocarburo líquido calentada (adicional) y una corriente 215 licuada de fluido de trabajo.

Preferentemente, el fluido de trabajo tiene una temperatura de condensación entre -20 y -50 °C. En algunos casos, un refrigerante es útil como fluido de trabajo. Los fluidos de trabajo preferidos están seleccionados entre uno o más del grupo que comprende: tetrafluorometano (R14), etano, pentafluoroetano (R125) y propano.

La energía fría procedente de la corriente 45 de hidrocarburos líquida calentada presurizada se usa para licuar el fluido de trabajo en la corriente 245 de fluido de trabajo vaporizada expandida. La corriente 215 licuada de fluido de trabajo producida de este modo se puede hacer pasar posteriormente a una bomba 220 de fluido de trabajo, en la cual se presuriza para proporcionar un corriente 225 de fluido de trabajo licuada presurizada. Preferentemente, se bombea la corriente 215 licuada de fluido de trabajo hasta una presión dentro del intervalo de 5 a 12 bar, más preferentemente de aproximadamente 6,2 bar. Generalmente, se prefiere bombear la corriente 215 licuada de fluido de trabajo hasta su presión de punto de rocío a temperatura ambiente. Posteriormente, se puede vaporizar dicha corriente licuada de fluido de trabajo frente a una fuente de calor a 15 °C.

A continuación, se puede hacer pasar la corriente 225 de fluido de trabajo licuada presurizada a un calentador 230 de fluido de trabajo, donde se vaporiza frente a una fuente de calor. Preferentemente, la fuente de calor tiene una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente, tal como una corriente 325 de alimentación de aire ambiental o agua ambiental. En una realización alternativa, la fuente de calor puede ser una corriente de hidrocarburos generada como parte del método de gasificación. Preferentemente, el calentador 320 de fluido de trabajo es un vaporizador de rejilla abierta. El calentador 230 de fluido de trabajo proporciona una corriente 235 de fluido de trabajo vaporizada, y una fuente de calor enfriada, tal como agua, aire o una corriente de hidrocarburos 345a, que es una corriente enfriada.

Posteriormente, se puede hacer pasar la corriente 235 vaporizada de fluido de trabajo a una turbina 240 de fluido de trabajo, donde se expande dinámicamente para proporcionar energía y la corriente 245 de fluido de trabajo vaporizada expandida. Se produce energía por medio de accionamiento mecánico de un generador 250 eléctrico de fluido de trabajo con la turbina 240 de fluido de trabajo por medio del eje 242. Preferentemente, la corriente 235 vaporizada de fluido de trabajo se expande hasta una presión dentro del intervalo de 1 a 3 bar, más preferentemente de aproximadamente 1,2 bar.

Idealmente, se preferiría la expansión hasta una presión mínima en la turbina de fluido de trabajo con el fin de

5 maximizar la generación de energía. No obstante, cuanto menor sea la presión de la corriente 245 de fluido de trabajo vaporizada expandida, más difícil será de licuar. Por el contrario, cuanto mayor sea la presión de la corriente 245 de fluido de trabajo vaporizada expandida, más fácil será de licuar, de manera que aunque se genere menos energía en la turbina 240 de fluido de trabajo, se puede usar un intercambiador 210 de calor de fluido de trabajo más pequeño y menos costoso.

10 Posteriormente, se puede vaporizar la corriente 45a de hidrocarburos líquida calentada (adicional) frente a una fuente de calor 345a para proporcionar una fuente de calor enfriada, tal como una corriente 355a de agua o aire enfriado, y una corriente 355 gaseosa de hidrocarburos. Preferentemente, la fuente de calor 345a tiene una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente, y puede ser una corriente 345a de hidrocarburos, aire o agua producida por medio del calentador 230 de fluido de trabajo.

15 Dicha realización es capaz de producir energía de 4 MW/MTPA. Aproximadamente 2 MW/MTPA se pueden generar a partir de la turbina de reciclaje 110 y el generador 120 eléctrico de corriente de reciclaje, de manera similar a la realización de la Figura 1. Se pueden generar otros 2 MW/MTPA a partir de la turbina 240 de fluido de trabajo y el generador 250 eléctrico de fluido de trabajo. Una generación de energía de 4 MW/MTPA es equivalente a la emisión de 12200 toneladas/año de dióxido de carbono producido por medio de generación de electricidad a partir de la combustión de gas natural en un aparato de generación de energía de ciclo combinado. Esta eliminación de emisiones de dióxido de carbono representa una ventaja significativa, con el beneficio adicional de que la electricidad adicional generada que no se usa en la operación en estado estacionario de la instalación de gasificación se puede exportar a otras instalaciones o a una red externa de electricidad.

25 La persona experta en la técnica comprenderá que la presente invención se puede llevar a cabo de varias formas sin alejarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, se podría aumentar la energía generada a partir de la realización de la Figura 4 que incorpora un circuito de Rankine por medio del uso de dos o más corrientes 115 de hidrocarburos gaseosas expandidas a diferentes niveles de presión, como se describe con relación a la realización de la Figura 3.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para la gasificación de una corriente (5) líquida de hidrocarburos para proporcionar una corriente (55) gaseosa de hidrocarburos y energía, que comprende al menos las etapas de:
- 10 (a) presurizar una corriente (5) líquida de hidrocarburos a una presión de alimentación para proporcionar una corriente (15) de hidrocarburos líquida presurizada a una presión de recuperación en frío;
- (b) someter la corriente (15) de hidrocarburos líquida presurizada a intercambio de calor frente a una o más corrientes (115) de reciclaje de vapor para proporcionar una corriente (35) de hidrocarburos líquida calentada y una o más corrientes (125) de reciclaje licuadas;
- 15 (c) hacer pasar una o más corrientes (125) de reciclaje licuadas, tras la presurización si fuese necesaria, a una o ambas de la corriente (5) líquida de hidrocarburos y la corriente (15) de hidrocarburos licuada presurizada;
- (d) presurizar una o más partes de la corriente (35) de hidrocarburos líquida calentada para proporcionar una o más corrientes (45) de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a una presión de tubería mínima o más elevada;
- 20 (e) vaporizar una o más de las corrientes (45) de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a la presión de tubería mínima o más elevada, frente a una o más fuentes de calor (345) para proporcionar una o más corrientes (55) gaseosas de hidrocarburos, al menos una de las cuales está a la presión de tubería mínima o más elevada;
- (f) expandir dinámicamente al menos una parte (55, 55a, 55e) de al menos una o más corrientes (55) gaseosas de hidrocarburos para proporcionar energía y una o más corrientes (115) de hidrocarburos gaseosas expandidas, donde al menos una parte de dicha una o más corrientes de hidrocarburos gaseosas expandidas forma al menos una parte de una o más corrientes (115) de reciclaje de vapor.
- 25 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, donde todas las etapas de intercambio de calor y vaporización que tienen como resultado un aumento de la temperatura de cualquiera de las corrientes de hidrocarburos (15, 45, 55) se llevan a cabo frente a una o ambas de una fuente de calor que tienen una temperatura menor o sustancialmente igual a la temperatura ambiente y una corriente de hidrocarburos (115) generada en el método de gasificación.
- 30 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, donde entre las etapas (e) y (f), se divide una corriente (55) gaseosa de hidrocarburos en una primera parte (55a, 55d) de la corriente (55) gaseosa de hidrocarburos y una segunda parte (55b, 55e) de la corriente (55) gaseosa de hidrocarburos, y donde la etapa (f) de la primera parte (55a, 55d) de la corriente (55) gaseosa de hidrocarburos se expande dinámicamente para proporcionar una o más primeras corrientes de hidrocarburos gaseosas expandidas en forma de una o más corrientes (115) de reciclaje de vapor.
- 35 4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, donde en la etapa (f) la expansión dinámica proporciona al menos dos primeras corrientes de hidrocarburos gaseosas expandidas en forma de dos corrientes (115) de reciclaje de vapor, cada una de dichas corrientes a diferentes presiones, en la etapa (b) el intercambiador de calor proporciona dos primeras corrientes (125) de hidrocarburos licuadas y en la etapa de presurización (c) se presurizan al menos dos primeras corrientes (125) de reciclaje licuadas para proporcionar una corriente (135) de reciclaje licuada presurizada, que se hace pasar a la corriente (15) de hidrocarburos líquida presurizada.
- 40 5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, donde la expansión dinámica de la etapa (f) se lleva a cabo en una turbina (110) de reciclaje de multietapa y en la etapa (c) la presurización se lleva a cabo en una bomba (130) de corriente de reciclaje de multietapa.
- 45 6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende la etapa de calentar la corriente (55) gaseosa de hidrocarburos frente a una fuente de calor (70) entre las etapas (e) y (f).
- 50 7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5 que además comprende las etapas de:
- 55 - calentar la primera parte (55a) de la corriente (55) gaseosa de hidrocarburos frente a una fuente de calor antes de la expansión dinámica de la etapa (f); y
- calentar la segunda parte (55b) de la corriente (55) gaseosa de hidrocarburos frente a una fuente de calor.
- 60 8. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores donde la etapa (c) comprende una o ambas de:
- (i) hacer pasar al menos una de una o más de las corrientes (125) de reciclaje licuadas a la corriente (5) líquida de hidrocarburos si una o más de las corrientes (125) de reciclaje licuadas están a la presión de alimentación o
- (ii) presurizar al menos una de una o más de las corrientes (125) de reciclaje licuadas para proporcionar una corriente (135) de reciclaje licuada presurizada a la presión de recuperación en frío y hacer pasar la

corriente de reciclaje licuada presurizada a la corriente (15) de hidrocarburos líquida presurizada, si la presión de una o más corrientes (125) de reciclaje licuadas está por encima de la presión de alimentación.

5 9. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde al menos una (55c) de una o más corrientes (55) gaseosas de hidrocarburos está a una presión mayor que la presión de tubería mínima, comprendiendo el método además las etapas de:

10 (g) expandir dinámicamente al menos una parte (55e) de al menos una corriente (55c) gaseosa de hidrocarburos que está a una presión mayor que la presión de tubería mínima en una turbina de tubería (80), accionando mecánicamente dicha turbina de tubería un generador (82) eléctrico de tubería para proporcionar energía eléctrica y una corriente (85) de hidrocarburos gaseosa expandida que está a una presión de al menos la presión de tubería mínima; y

15 (h) calentar la corriente (85) de hidrocarburos gaseosa expandida frente a una fuente de calor para proporcionar una corriente (95) de hidrocarburos gaseosa calentada;

(i) hacer pasar la corriente (95) de hidrocarburos gaseosa calentada a una red de gas.

10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende, entre las etapas (d) y (e), las etapas de:

20 - someter a intercambio de calor al menos una de una o más corrientes (45) de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas frente a una corriente (245) de fluido de trabajo vaporizada expandida para proporcionar una corriente (215) de fluido de trabajo licuada;

25 - presurizar la corriente (215) de fluido de trabajo licuada para proporcionar una corriente (225) de fluido de trabajo licuada presurizada;

- vaporizar la corriente (225) de fluido de trabajo licuada presurizada frente a una fuente de calor (325) para proporcionar una corriente (235) de fluido de trabajo vaporizada; y

30 - expandir dinámicamente la corriente (235) de fluido de trabajo vaporizada en una turbina (240) de fluido de trabajo, accionando mecánicamente dicha turbina (240) de fluido de trabajo un generador (250) eléctrico de fluido de trabajo, para proporcionar energía eléctrica y la corriente (245) de fluido de trabajo vaporizada expandida.

35 11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la presión de recuperación en frío está dentro del intervalo de 10 a menos de 60 bar, más preferentemente de 20 a menos de 50 bar y/o la presión de tubería mínima es mayor o igual que 60 bar, más preferentemente mayor o igual que 70 bar, incluso más preferentemente mayor o igual que 75 bar.

12. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha una o más fuentes de calor (345) tienen una temperatura menor o igual que la temperatura ambiente.

40 13. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde la corriente (5) líquida de hidrocarburos es gas natural licuado y una o más de las corrientes (55) gaseosas de hidrocarburos comprenden una corriente (55b) de gas natural.

45 14. Un aparato (1) para la gasificación de una corriente (5) líquida de hidrocarburos para proporcionar una corriente (55) gaseosa de hidrocarburos, comprendiendo dicho aparato al menos:

50 - una bomba (10) de corriente líquida de hidrocarburos para presurizar una corriente (5) líquida de hidrocarburos a una presión de alimentación para proporcionar una corriente (15) de hidrocarburos licuada presurizada a una presión de recuperación en frío;

- un intercambiador (30) de calor de corriente de hidrocarburos para someter la corriente (15) de hidrocarburos líquida presurizada a intercambio de calor frente a una o más corrientes (115) de reciclaje de vapor para proporcionar una corriente (35) de hidrocarburos líquida calentada y una o más corrientes (125) de reciclaje licuadas;

55 - una bomba (40) de corriente de hidrocarburos calentada para presurizar una o más partes de la corriente (35) de hidrocarburos líquida calentada para proporcionar una o más corrientes (45) de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a una presión de tubería mínima o más elevada;

60 - una fuente de calor (345) para vaporizar una o más de las corrientes (45) de hidrocarburos líquidas calentadas presurizadas, al menos una de las cuales está a una presión de tubería mínima o más elevada, para proporcionar una o más corrientes gaseosas de hidrocarburos;

65 - una turbina de reciclaje (110) para expandir dinámicamente al menos una parte (55, 55a, 55e) de al menos una de una o más de las corrientes (55) gaseosas de hidrocarburos para accionar un eje (112) y proporcionar una o más corrientes de hidrocarburos gaseosas expandidas, al menos una partes de las cuales forma al menos una parte de una o más corrientes (115) de reciclaje de vapor; y

- uno o más dispositivos (20) de mezcla de corriente de hidrocarburos para introducir una o más de las corrientes (125) de reciclaje licuadas, o una corriente derivada de las mismas (135), en la corriente (5)

líquida de hidrocarburos o la corriente (15) de hidrocarburos licuada presurizada.

15. El aparato (1) de acuerdo con la reivindicación 14, que además comprende:

5           - una bomba (130) de corriente de reciclaje para presurizar una o más de las corrientes (125) de reciclaje licuadas para proporcionar una corriente (135) de reciclaje licuada presurizada a la presión de recuperación en frío; y

10           donde el dispositivo (20) de mezcla de la corriente de hidrocarburos introduce la corriente (135) de reciclaje licuada presurizada en la corriente (15) de hidrocarburos líquida presurizada.

16. El aparato (1) de acuerdo con la reivindicación 14 ó 15, donde la fuente de calor (345) tiene una temperatura menor o sustancialmente igual que la temperatura ambiente.

15

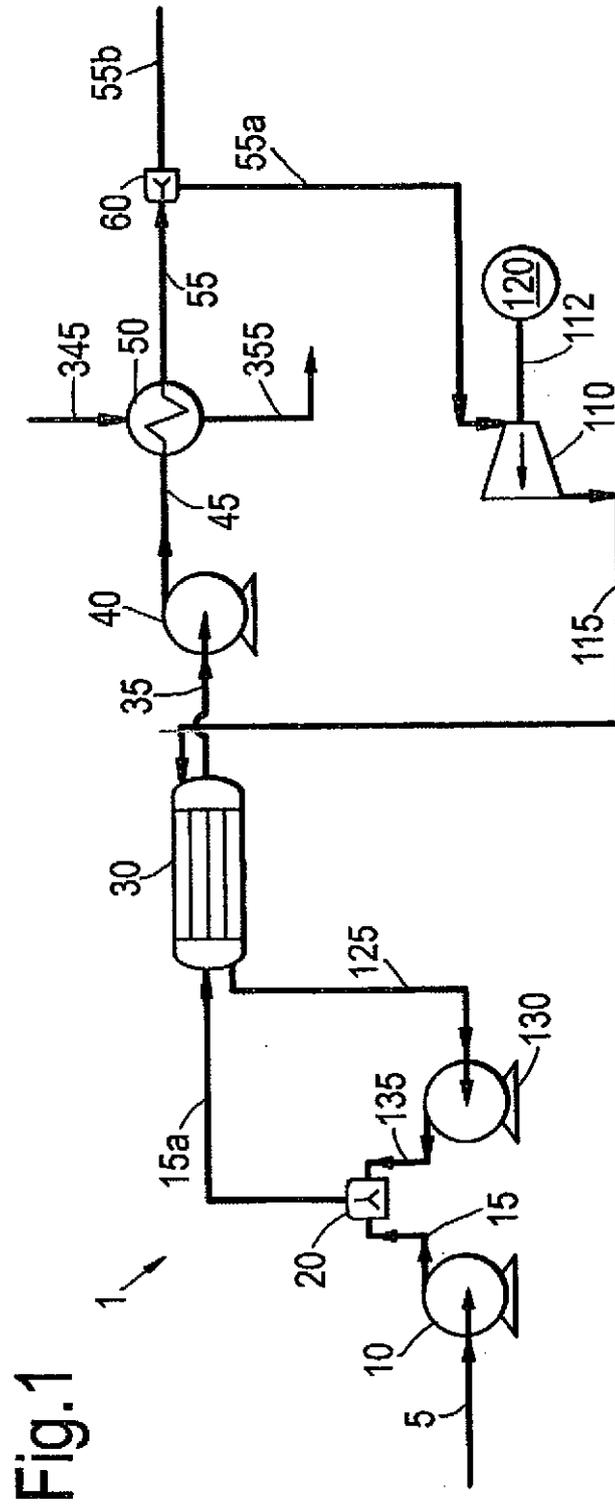


Fig.1



Fig.2c

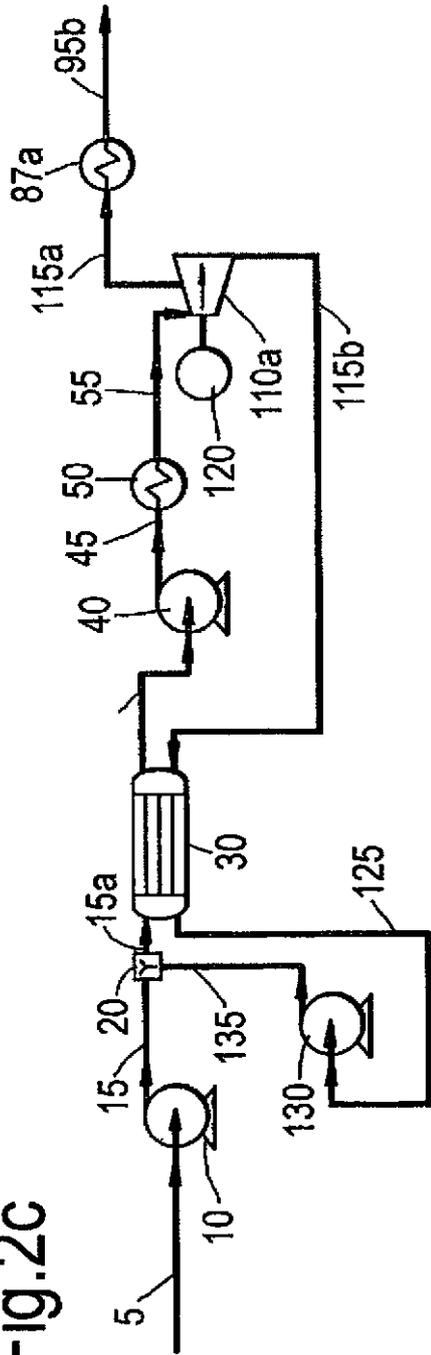
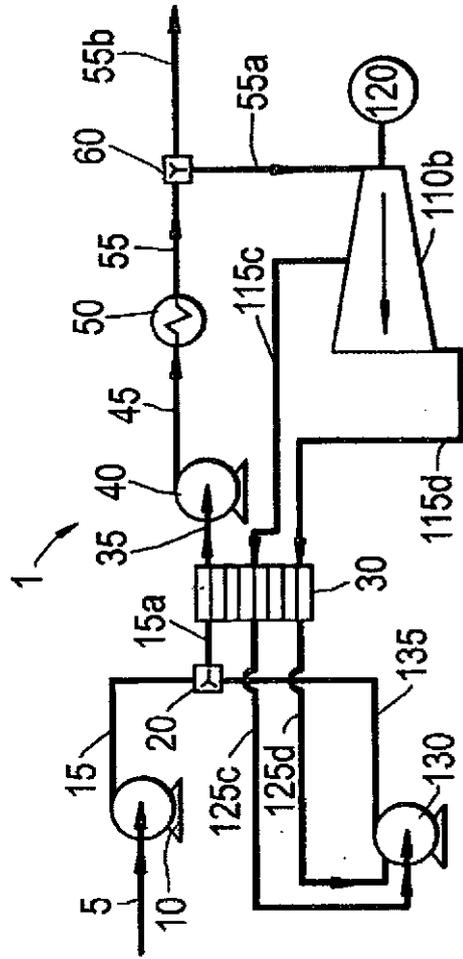


Fig.3



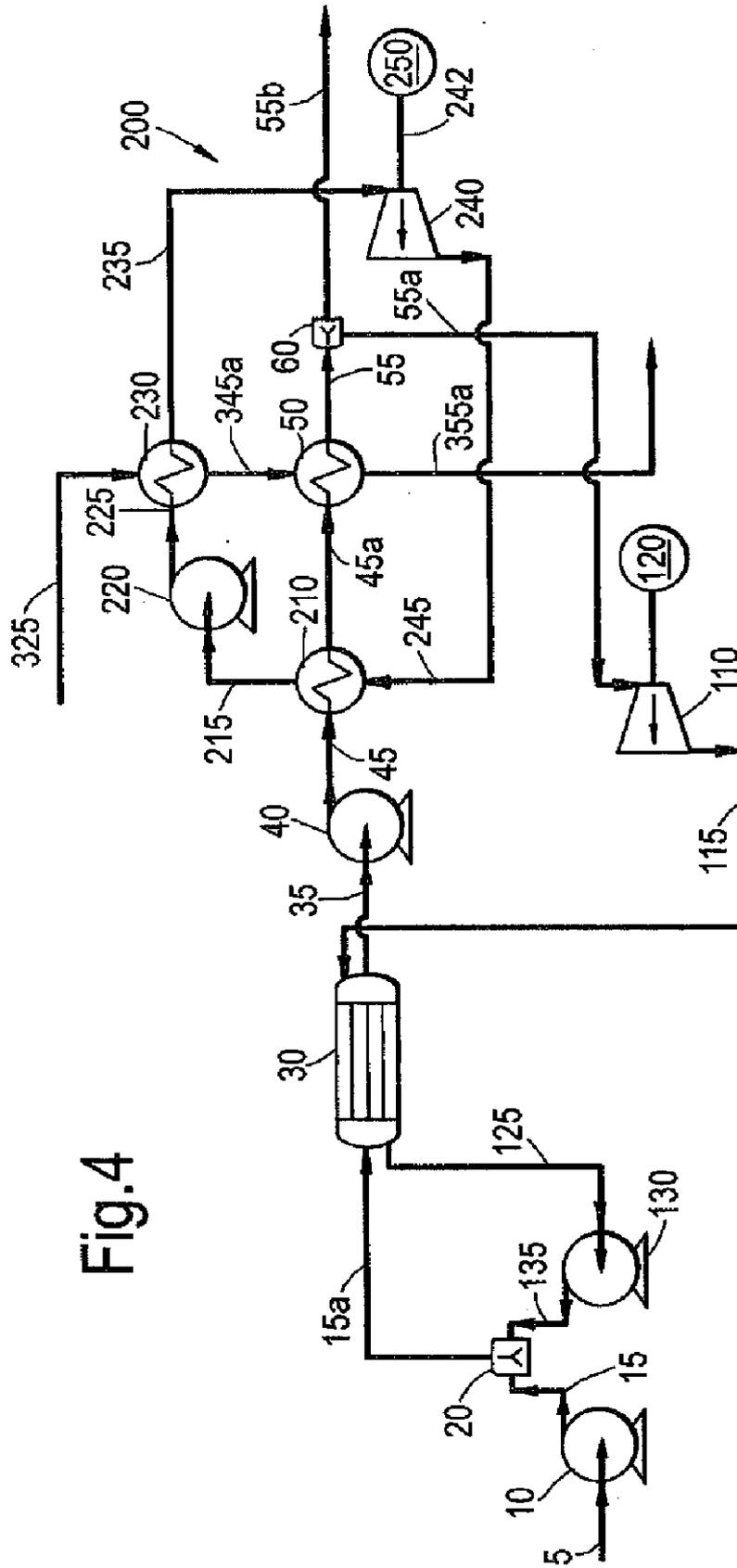


Fig.4