

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 474**

51 Int. Cl.:

B01D 53/02 (2006.01)

B01D 53/04 (2006.01)

B01D 53/14 (2006.01)

C10L 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.02.2014 PCT/US2014/014578**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.08.2014 WO14126748**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2014 E 14752006 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2017 EP 2956228**

54 Título: **Proceso para el pretratamiento de gas natural licuado flotante**

30 Prioridad:

14.02.2013 US 201313766958

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

05.12.2017

73 Titular/es:

**UOP LLC (100.0%)
25 East Algonquin Road P.O. Box 5017
Des Plaines, Illinois 60017-5017, US**

72 Inventor/es:

**ZHOU, LUBO;
DOONG, SHAIN y
SCHOTT, MARK**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 645 474 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

Proceso para el pretratamiento de gas natural licuado flotante

Reivindicación de prioridad de una solicitud nacional anterior

Esta solicitud reivindica la prioridad de la Solicitud US 13/766.958 presentada el 14 de febrero de 2013.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un proceso combinado de absorción y adsorción para tratar gas natural antes de su licuefacción en un entorno flotante tal como un buque. Más en concreto, se refiere a la mejora de la eliminación de contaminantes en un absorbedor en el que el líquido está mal distribuido debido al balanceo, la escora y el movimiento naturales de un buque en el mar.

10 Antecedentes de la invención

El gas natural es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y residenciales. El transporte de gas es más difícil que el transporte de líquidos. Cuando los yacimientos de gas natural están relativamente cerca de los usuarios, el gas se suele transportar por tuberías. En otros casos en los que los yacimientos de gas están en lugares alejados y/o los usuarios están lejos de los yacimientos, el gas natural se licúa primero y luego se transporta en forma de gas natural licuado (GNL).

15 En una planta de GNL, contaminantes, tales como dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno, tienen que reducirse a niveles muy bajos. Por ejemplo, el contenido de dióxido de carbono en la corriente de gas de alimentación debe ser inferior a 50 ppmv antes de la licuefacción para evitar la formación de hielo seco dentro del sistema. Comercialmente, esto puede conseguirse usando un proceso de absorción de disolventes, tal como poner en
20 contacto el gas natural con un disolvente de amina, por ejemplo, monoetanolamina (MEA) o dietanolamina (DEA), para eliminar el dióxido de carbono. La amina se regenera después del uso. Otros procesos de eliminación de CO₂ son conocidos en la técnica, por ejemplo, procesos criogénicos, procesos de adsorción tales como adsorción por cambio de presión (ACP) y adsorción por cambio térmico (ACT), y procesos basados en membranas.

25 Después de la eliminación de contaminantes, el gas natural es enviado a través de una unidad de deshidratación de tamiz molecular para eliminar agua por debajo de 1 ppmv.

En los últimos años, ha aumentado el interés en el desarrollo de instalaciones flotantes de GNL (GNLF) que pueden licuar el gas en alta mar para su transporte. Una instalación GNLF puede colocarse adyacente a un pozo de gas natural en alta mar para licuar el gas mientras se está cargando en un buque-cisterna, lo que elimina la necesidad de tuberías para tomar el gas en tierra antes de la licuefacción en una instalación convencional. La instalación GNLF
30 podría ser movida de un puerto a otro para dar servicio a pequeños yacimientos de GNL, según sea necesario.

Sin embargo, el procesamiento de gas natural en tal barco conlleva problemas que no se encuentran en instalaciones terrestres. El movimiento del buque puede dar como resultado una mala distribución del líquido en una columna de separación. La eficiencia de transferencia de masa de la fase gas-líquido dentro de la columna se reducirá significativamente debido a la mala distribución. En el pretratamiento GNLF, se usa un absorbedor y un regenerador de amina para eliminar gas ácido. Si se reduce el rendimiento de la columna, el gas tratado por el absorbente de amina puede no ser capaz de cumplir las normas de gases ácidos bajos (por ejemplo, menos de 50 ppm de CO₂), lo que generará un problema de taponamiento del sistema de licuefacción aguas abajo.

Por tanto, existe la necesidad de un proceso fiable que pueda asegurar que el gas tratado cumpla las normas de alimentación de GNL.

40 Breve descripción de la invención

Un aspecto de la invención es un método de pretratamiento de una corriente de gas natural para una planta GNLF. En una realización, el método incluye introducir una corriente de alimentación de gas natural en una unidad de absorción de amina situada en un buque para reducir un nivel de azufre, de CO₂ o ambos para formar una corriente de alimentación de gas natural con menos contaminantes. La corriente de alimentación de gas natural que tiene
45 menos contaminantes se introduce en una unidad de adsorción por cambio de temperatura situada en el buque para reducir un nivel de H₂O, de CO₂ o de ambos. La unidad de adsorción por cambio de temperatura tiene un ciclo de deshidratación y un ciclo de eliminación de CO₂. Se supervisa la cantidad de movimiento del buque, o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, o ambos. Si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos
50 contaminantes es menor o igual a un valor predeterminado, la unidad de adsorción por cambio de temperatura se hace funcionar en el ciclo de deshidratación. Si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes es mayor que el predeterminado, se inicia el ciclo de eliminación de CO₂.

En algunas realizaciones, después de al menos un ciclo de eliminación de CO₂, cuando la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de gas natural de bajo contenido de azufre cae por debajo de o es igual al valor predeterminado, se inicia el ciclo de deshidratación.

Breve descripción de los dibujos

5 La figura 1 es una ilustración de un sistema de la técnica anterior para el pretratamiento de alimentación de GNL.

Las figuras 2A-C son ilustraciones de una realización de un ciclo de deshidratación que usa cuatro adsorbentes en un proceso de adsorción por cambio térmico.

Las figuras 3A-D son ilustraciones de una realización de un ciclo de eliminación de CO₂ que usa cuatro adsorbentes en un proceso de adsorción por cambio térmico.

10 Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un proceso para pretratar la alimentación de GNL en una instalación GNLF. El proceso utiliza tecnología de amina convencional para separar el gas ácido del gas natural seguido de un proceso de adsorción por cambio térmico (ACT) para la eliminación de agua cuando el movimiento del barco GNLF o el nivel de CO₂ está por debajo de un límite predeterminado. Si el movimiento del barco GNLF y/o el nivel de CO₂ está por encima del límite predeterminado, se utiliza el sistema ACT para eliminar el gas ácido escurrido del proceso de amina. La invención proporciona un proceso fiable para el pretratamiento GNLF para suministrar un gas natural tratado que puede cumplir las normas de alimentación de GNL.

15 La figura 1 muestra el tratamiento de una alimentación de gas natural 5 en una unidad de absorción de amina 10. El efluente 15 de la unidad de adsorción de amina 10 se envía a la unidad ACT 20. El efluente 25 de la unidad ACT 20 se envía a la unidad de licuefacción 30. La unidad de adsorción de amina 10 elimina azufre y/o CO₂ de la corriente de alimentación de gas natural. La unidad de adsorción de amina 10 incluye generalmente un absorbedor y un regenerador. Como comprenderán los expertos en la técnica, el número de columnas de absorción/regeneración de amina puede variar dependiendo del caudal de gas y/o del contenido de CO₂ en la corriente de alimentación. La unidad ACT 20 elimina el agua de la corriente de gas natural. El número de columnas de ACT puede variar dependiendo del caudal de gas y/o de los ciclos de ACT usados, como es sabido por los expertos en la técnica.

20 Se puede usar el mismo adsorbente en la unidad ACT tanto para la deshidratación como para la eliminación de CO₂, aunque la capacidad de adsorción de CO₂ es mucho menor que para el agua. Por tanto, el tiempo de ciclo para la eliminación de CO₂ es típicamente más corto que para la deshidratación. El tiempo de alimentación o el tiempo de adsorción por lecho para el ciclo de deshidratación es generalmente más largo que para la eliminación de CO₂. Además, debido al mayor calor de adsorción de agua comparado con CO₂, el tiempo de recuperación de calor para la deshidratación también es generalmente más largo que para la eliminación de CO₂. Para el mismo tamaño de lecho, el tiempo de enfriamiento será normalmente cerrado para ambos ciclos.

Si la ACT de deshidratación y la ACT de eliminación de CO₂ están diseñadas para manipular la misma cantidad de gas de alimentación, se necesita un adsorbente adicional para la ACT de eliminación de CO₂.

35 Para una aplicación GNLF, este adsorbente adicional se puede usar para reducir el nivel de CO₂ causado por el escurrido de CO₂ (CO₂ > 50 ppm) de la unidad de amina debido al movimiento del mar.

40 El ciclo ACT de deshidratación incluye una etapa de calentamiento, una etapa de enfriamiento y una etapa de reposo. Durante la etapa de calentamiento, se alimenta al menos un primer lecho con al menos una parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, se calienta un segundo lecho y un tercer lecho está inactivo. En la etapa de enfriamiento, el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, el segundo lecho se enfría y el tercer lecho está inactivo. En la etapa de reposo, al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes y los lechos segundo y tercero están inactivos.

45 En el ciclo de eliminación de CO₂, el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, se enfría el segundo lecho y se calienta el tercer lecho. Los ciclos de deshidratación y eliminación de CO₂ se repiten para regenerar cada lecho.

50 Se supervisa el movimiento del buque, o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, o ambos. El movimiento del buque es supervisado para detectar la cabezada (el movimiento de delante hacia atrás) y/o el balanceo (el movimiento de lado a lado). Monitores adecuados para el movimiento del buque incluyen, aunque no se limitan a, acelerómetros y giroscopios. Monitores adecuados para el nivel de CO₂ incluyen, aunque no se limitan a, sensores de CO₂ y cromatógrafos de gases.

Si el movimiento o el nivel de CO₂ (o ambos) es mayor que un valor predeterminado, se termina el ciclo de deshidratación y se inicia el ciclo de eliminación de CO₂. Cuando el movimiento o el nivel de CO₂ cae por debajo de o es igual al valor predeterminado, el sistema cambia de nuevo al ciclo de deshidratación.

5 Cuando el movimiento o nivel de CO₂ es mayor que el valor predeterminado, el sistema determina en qué etapa está la unidad ACT: calentamiento, enfriamiento o reposo. Si la unidad ACT está en la etapa de calentamiento, se inicia una etapa de transición en la que el segundo lecho continúa calentándose hasta que se completa la etapa de calentamiento. Durante la etapa de transición, el al menos un primer lecho y el tercer lecho se alimentan igualmente con la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes. Cuando se completa la etapa de calentamiento, se inicia el ciclo de eliminación de CO₂.

Si la unidad ACT está en la etapa de enfriamiento o de reposo, se inicia el ciclo de eliminación de CO₂.

10 El valor predeterminado para el nivel de CO₂ será típicamente de 50 ppm para evitar la formación de hielo seco durante el proceso de licuefacción, aunque podría ser mayor o menor dependiendo del sistema y de las condiciones requeridas para el proceso de licuefacción.

El valor predeterminado para el movimiento del buque es un nivel de movimiento que provoca una mala distribución del líquido en la columna de amina y/o en la columna de regeneración. Normalmente será de 1 grado para una inclinación permanente (escora y/o equilibrio) y de 2,5 a 4 grados para el movimiento angular (cabezada y/o balanceo).

15 Adsorbentes adecuados para la unidad ACT incluyen, aunque no se limitan a, tamices moleculares, alúmina, gel de sílice, adsorbentes de óxidos mixtos, o combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el adsorbente es un tamiz molecular. Tamices moleculares adecuados incluyen, aunque no se limitan a, zeolita X, zeolita A, zeolita Y, o combinaciones de las mismas.

20 Si hay tres lechos en la unidad ACT, hay un primer lecho y se le suministra toda la corriente de gas natural que tiene menos contaminantes. Si hay cuatro (o más) lechos, hay dos (o más) primeros lechos y la corriente de gas natural que tiene menos contaminantes se alimenta a los dos (o más) lechos por igual.

Las figuras 2A-C ilustran el funcionamiento de una realización del ciclo de deshidratación de la unidad ACT con cuatro adsorbentes A, B, C, D. En este ejemplo, el lecho C se está regenerando y el lecho A es el lecho siguiente que se va a regenerar.

25 Cuando la unidad de amina genera una corriente de producto que cumple las normas de CO₂, el adsorbente D se inactiva durante todo el ciclo de deshidratación.

30 La etapa de calentamiento que tiene un tiempo T1 se muestra en la figura 2A. La alimentación 100 se introduce en adsorbentes A y B donde se elimina el agua. El producto 105 sale de los adsorbentes A y B. Una parte 110 del producto 105 del adsorbente B se envía al calentador 115 antes de ser introducida en el adsorbente C para regenerar el lecho. El efluente 120 procedente del adsorbente C se envía a un posenfriador (no mostrado).

La etapa de enfriamiento que tiene un tiempo T2 se muestra en la figura 2B. La alimentación 100 se sigue introduciendo en los adsorbentes A y B con el producto 105 saliendo de los adsorbentes A y B. Una parte 110 del producto 105 del adsorbente B se introduce en el adsorbente C para enfriar el lecho.

35 La etapa de reposo que tiene un tiempo T3 se muestra en la figura 2C. La alimentación 100 se sigue introduciendo en los adsorbentes A y B con el producto 105 saliendo de los adsorbentes A y B. El adsorbente C está inactivo porque no se le envía ningún producto.

La secuencia de ciclos para el ciclo de deshidratación cuando la unidad de amina genera una corriente de producto que cumple las normas de CO₂ se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Tiempo	T1	T2	T3	T1	T2	T3
A	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Calor	Frío	Reposo
B	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Alimentación
C	Calor	Frío	Reposo	Alimentación	Alimentación	Alimentación
D	Reposo	Reposo	Reposo	Reposo	Reposo	Reposo

40 Sin embargo, si hay movimiento marino fuerte o un se ha detectado un nivel de CO₂ superior a 50 ppm procedente de la unidad de amina, la secuencia de ciclos cambiará del ciclo de deshidratación al ciclo de eliminación de CO₂. En las figuras 3A-D, se ilustra una secuencia de ciclos de eliminación de CO₂ de cuatro lechos. Cada una de las etapas del ciclo de eliminación de CO₂ incluye un lecho que se alimenta, un lecho que se calienta y un lecho que se enfría. Las etapas del ciclo de eliminación de CO₂ tienen la misma longitud.

45 La figura 3A muestra la regeneración de adsorbente C. Una alimentación 200 se introduce en los adsorbentes A y D donde se elimina el CO₂. El producto 205 sale de los adsorbentes A y D. Una parte 210 del producto 205 del adsorbente A se envía al adsorbente B para su enfriamiento. El efluente 215 del adsorbente B se calienta en el

calentador 220 y se envía al adsorbente C para regenerar el lecho. El efluente 225 del lecho C se envía a un posenfriador (no mostrado).

5 La figura 3B muestra la regeneración de adsorbente A. La alimentación 200 se introduce en los adsorbentes B y D donde se elimina el CO₂. El producto 205 sale de los adsorbentes B y D. Una parte 210 del producto 205 del adsorbente B se envía al adsorbente C para su enfriamiento. El efluente 215 del adsorbente C se calienta en el calentador 220 y se envía al adsorbente A para regenerar el lecho. El efluente 225 del lecho A se envía a un posenfriador (no mostrado).

10 La figura 3C muestra la regeneración de adsorbente D. La alimentación 200 se introduce en los adsorbentes B y C donde se elimina el CO₂. El producto 205 sale de los adsorbentes B y C. Una parte 210 del producto 205 del adsorbente C se envía al adsorbente A para su enfriamiento. El efluente 215 del adsorbente A se calienta en el calentador 220 y se envía al adsorbente D para regenerar el lecho. El efluente 225 del lecho D se envía a un posenfriador (no mostrado).

15 La figura 3D muestra la regeneración de adsorbente B. La alimentación 200 se introduce en los adsorbentes A y C donde se elimina el CO₂. El producto 205 sale de los adsorbentes A y C. Una parte 210 del producto 205 del adsorbente C se envía al adsorbente D para su enfriamiento. El efluente 215 del adsorbente D se calienta en el calentador 220 y se envía al adsorbente B para regenerar el lecho. El efluente 225 del lecho B se envía a un posenfriador (no mostrado).

La secuencia de ciclos para una operación típica ACT de eliminación de CO₂ de cuatro lechos se muestra en la Tabla 2.

20 Tabla 2

Tiempo	T4	T4	T4	T4
A	Alimentación	Calor	Frío	Alimentación
B	Frío	Alimentación	Alimentación	Calor
C	Calor	Frío	Alimentación	Alimentación
D	Alimentación	Alimentación	Calor	Frío

La transición del ciclo de deshidratación al ciclo de eliminación de CO₂ depende del momento en el que se detecte el producto de amina que no cumple las normas o del momento en el que se mida el movimiento marino por encima de la condición propuesta. Tx indica este instante de tiempo. Hay 4 situaciones que dependen de Tx:

25 1) $0 < T_x < T_4$

T₄ es el tiempo de la etapa para el ciclo ACT de eliminación de CO₂ como se ha mostrado anteriormente. Tanto el lecho A como el lecho B se someten a la etapa de alimentación y el lecho C se regenera. El lecho A es el siguiente adsorbente que se regenera después del final de este ciclo. Cuando se detecta el producto de amina que no cumple las normas en Tx, no se adopta ninguna medida hasta T₄ (es decir, después de que haya transcurrido T₄-Tx). En el tiempo T₄, el gas de alimentación es enviado a los adsorbentes A, B y D, recibiendo cada uno 1/3 del flujo de alimentación total, o 2/3 del flujo de alimentación original por lecho. Esto continúa hasta que el lecho C termina la etapa de recuperación de calor. A continuación, se inicia el ciclo de eliminación de CO₂ con el lecho C comenzando la etapa de enfriamiento, mientras que el lecho A comienza la etapa de recuperación de calor y los lechos B y D continúan recibiendo la alimentación. Las etapas siguientes seguirán el ciclo ACT de eliminación de CO₂ mostrado anteriormente. El gas libre de regeneración se recicla de nuevo en la entrada de la unidad de amina después de que se enfría y el agua se condensa.

La Tabla 3 muestra la secuencia de ciclos para esta situación.

Tabla 3

		T _x ↓	T ↓	T ₁ ↓		
Tiempo	T ₀	T ₄ -T _x	T ₁ -T ₄	T ₄	T ₄	T ₄
A	Alimentación	Alimentación	2/3 Alimentación	Calor	Frío	Alimentación
B	Alimentación	Alimentación	2/3 Alimentación	Alimentación	Calor	Frío
C	Calor	Calor	Calor	Frío	Alimentación	Alimentación
D	Reposo	Reposo	2/3 Alimentación	Alimentación	Alimentación	Calor

40 2) $T_4 < T_x < T_1$

ES 2 645 474 T3

5 Si T_x se produce después del caso anterior, aunque antes de que el lecho C termine la etapa de calentamiento, el gas de alimentación se envía inmediatamente a los lechos A, B y D con cada uno recibiendo 1/3 del flujo de alimentación total o 2/3 del flujo de alimentación original por lecho. Esto continúa hasta que el lecho C termina la etapa de recuperación de calor en T_1 . A continuación, se inicia el ciclo de eliminación de CO_2 con el lecho C comenzando la etapa de enfriamiento, mientras que el lecho A comienza la etapa de recuperación de calor, y los lechos B y D continúan recibiendo la alimentación. Posteriormente, se seguirá con la secuencia ACT de eliminación de CO_2 .

Esto se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

		T_x		T_1		
		↓		↓		
Tiempo	T0	T1-Tx	T4	T4	T4	T4
A	Alimentación	2/3 Alimentación	Calor	Frío	Alimentación	Alimentación
B	Alimentación	2/3 Alimentación	Alimentación	Calor	Frío	Alimentación
C	Calor	Calor	Frío	Alimentación	Alimentación	Calor
D	Reposo	2/3 Alimentación	Alimentación	Alimentación	Calor	Frío

10

3) $T_1 < T_x < T_2$

Si T_x se produce después de que el lecho C haya completado la etapa de recuperación de calor y se esté enfriando, el ciclo cambia al ciclo de eliminación de CO_2 con el lecho A regenerándose, el lecho C continuando la etapa de enfriamiento y los lechos B y D recibiendo la alimentación, como se muestra en la Tabla 5. Posteriormente, se seguirá con el ciclo de eliminación de CO_2 .

15

Tabla 5

		T_1	T_x	T_x+T_4		
		↓	↓	↓		
Tiempo	T0	T1	Tx-T1	T4	T4	T4
A	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Calor	Frío	Alimentación
B	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Calor	Frío
C	Calor	Calor	Frío	Frío	Alimentación	Alimentación
D	Reposo	Reposo	Reposo	Alimentación	Alimentación	Calor

4) $T_2 < T_x < T_3$

20 Si T_x se produce después de que el lecho C haya completado la etapa de recuperación de frío y está en reposo, el ciclo cambia al ciclo de eliminación de CO_2 con el lecho C recibiendo el gas de alimentación junto con el lecho B, el lecho A comenzando la etapa de recuperación de calor y lecho D continuando inactivo. Posteriormente, se seguirá con el ciclo de eliminación de CO_2 .

				T_x	T_x+T_4	
				↓	↓	
Tiempo	T0	T1	T2	Tx-T2	T4	T4
A	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Calor	Frío
B	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Alimentación	Calor
C	Calor	Calor	Frío	Reposo	Alimentación	Alimentación
D	Reposo	Reposo	Reposo	Reposo	Reposo	Alimentación

25 EJEMPLO

Una unidad de deshidratación ACT de 4 lechos colocada después de una unidad de amina en un GNLf está diseñada para procesar $1,19e5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de gas de alimentación a 5980 KPa. Sólo funcionan 3 adsorbentes con el

cuarto lecho inactivo si el gas de alimentación contiene menos de 50 ppm de CO₂. El flujo de regeneración es de 11200 Nm³/h. La división del tiempo de ciclo es la siguiente:

$$T1 = 2,26 \text{ h}, T2 = 1, 1 \text{ h y } T3 = 4,64 \text{ h } (T1 + T2 + T3 = 8 \text{ h})$$

5 Se puede accionar el mismo sistema de 4 lechos para eliminar gas de alimentación con una concentración de CO₂ de 110 ppm hasta 50 ppm. El flujo de regeneración requerido es de 12300 Nm³/h. La unidad puede procesar 1,25 x 10⁵ Nm³/hr de gas de alimentación en los mismos 5980 KPa. El flujo de alimentación ligeramente superior en comparación con el caso de deshidratación se debe a más flujo de regeneración, que se recicla de nuevo a la alimentación de amina. El tiempo de ciclo para este ciclo de eliminación de CO₂ es T4 = 1,3 h.

10 Aunque en la descripción detallada anterior de la invención se presenta al menos una realización ejemplar, debe apreciarse que existe un gran número de variaciones. También debe apreciarse que la realización ejemplar o las realizaciones ejemplares son sólo ejemplos y no pretenden limitar de ningún modo el ámbito de aplicación, la aplicabilidad o la configuración de la invención. Más bien, la descripción detallada anterior proporcionará a los expertos en la técnica una hoja de ruta conveniente para implementar una realización ejemplar de la invención. Se entiende que pueden realizarse diversos cambios en la función y disposición de los elementos descritos en una realización ejemplar sin apartarse del ámbito de aplicación de la invención, como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

Realizaciones específicas

Aunque lo siguiente se describe en combinación con realizaciones específicas, se entenderá que esta descripción pretende ilustrar y no limitar el ámbito de aplicación de la descripción anterior y de las reivindicaciones adjuntas.

20 Una primera realización de la invención es un método de pretratamiento de una corriente de gas natural para una planta flotante de gas natural licuado que comprende introducir una corriente de alimentación de gas natural en una unidad de absorción de amina para reducir un nivel de azufre, de CO₂ o de ambos para formar una corriente de alimentación de gas natural con menos contaminantes, estando la unidad de absorción de amina situada en un buque; introducir la corriente de alimentación de gas natural con menos contaminantes en una unidad de adsorción por cambio de temperatura para reducir un nivel de H₂O, de CO₂ o de ambos; estando situada la unidad de adsorción por cambio de temperatura en el buque; teniendo la unidad de adsorción por cambio de temperatura un ciclo de deshidratación y un ciclo de eliminación de CO₂; supervisar una cantidad de movimiento del buque, o un nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, o ambos; si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes es menor o igual a un valor predeterminado, hacer funcionar la unidad de adsorción por cambio de temperatura en el ciclo de deshidratación; y si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes es mayor que el valor predeterminado, iniciar el ciclo de eliminación de CO₂. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, que comprende además después de al menos un ciclo de eliminación de CO₂, cuando la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de gas natural de bajo contenido de azufre cae por debajo de o es igual al valor predeterminado, iniciar el ciclo de deshidratación. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que el ciclo de deshidratación comprende una etapa de calentamiento en la que al menos un primer lecho se alimenta con al menos una parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, un segundo lecho se calienta y un tercer lecho está inactivo; una etapa de enfriamiento en la que el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, el segundo lecho se enfría y el tercer lecho está inactivo; y una etapa de reposo en la que el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes y los lechos segundo y tercero están inactivos. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que el ciclo de eliminación de CO₂ comprende una primera etapa en la que el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, el segundo lecho se enfría y el tercer lecho se calienta; una segunda etapa en la que el al menos un primer lecho se calienta, el segundo lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes y el tercer lecho se enfría; y una tercera etapa en la que el al menos un primer lecho se enfría, el segundo lecho se calienta y el tercer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que se supervisa la cantidad de movimiento del buque. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que se supervisa el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que el nivel predeterminado de CO₂ es de 50 ppm. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que un adsorbente en la unidad de adsorción por cambio de temperatura es un tamiz molecular, alúmina, gel de sílice, un adsorbente de óxido mixto o combinaciones de los mismos. Una realización de

la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que el adsorbente es el tamiz molecular. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que el tamiz molecular comprende zeolita X, zeolita A, zeolita Y o combinaciones de las mismas. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo que comprende además introducir la alimentación de gas natural pretratado en una unidad de licuefacción. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que el inicio del ciclo de eliminación de CO₂ comprende; determinar si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de calentamiento, la etapa de enfriamiento o la etapa de reposo; si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de calentamiento, iniciar una etapa de transición en la que el segundo lecho continúa calentándose hasta que se completa la etapa de calentamiento y el al menos un primer lecho y el tercer lecho se alimentan igualmente con la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes; e iniciar el ciclo de eliminación de CO₂; y si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de enfriamiento o la etapa de reposo, iniciar el ciclo de eliminación de CO₂. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo, a través de la primera realización de este párrafo, que comprende además esperar un periodo de tiempo al menos igual al periodo de tiempo de una etapa del ciclo de eliminación de CO₂ después de que se completa la etapa de calentamiento antes de alimentar igualmente el al menos un primer lecho y el tercer lecho. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la primera realización de este párrafo, en la que la unidad de adsorción por cambio de temperatura incluye tres lechos. El método según la reivindicación 1, en el que la unidad de adsorción por cambio de temperatura incluye cuatro lechos.

Una segunda realización de la invención es un método de pretratamiento de una corriente de gas natural para una planta flotante de gas natural licuado que comprende introducir una corriente de alimentación de gas natural en una unidad de absorción de amina para reducir un nivel de azufre, de CO₂ o de ambos para formar una corriente de alimentación de gas natural con menos contaminantes, estando la unidad de absorción de amina situada en un buque; introducir la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes en una unidad de adsorción por cambio de temperatura para reducir un nivel de H₂O, de CO₂ o de ambos; estando situada la unidad de adsorción por cambio de temperatura en el buque; teniendo la unidad de adsorción por cambio de temperatura un ciclo de deshidratación y un ciclo de eliminación de CO₂; teniendo el ciclo de deshidratación una etapa de calentamiento, en la que al menos un primer lecho se alimenta con al menos una parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, un segundo lecho se calienta y un tercer lecho está inactivo; una etapa de enfriamiento en la que al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, el segundo lecho se enfría y el tercer lecho está inactivo; y una etapa de reposo en la que el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes y los lechos segundo y tercero están inactivos; teniendo el ciclo de eliminación de CO₂ una primera etapa en la que el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, el segundo lecho se enfría y el tercer lecho se calienta; una segunda etapa en la que se calienta el al menos un primer lecho, el segundo lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes y el tercer lecho se enfría; y una tercera etapa en la que el al menos un primer lecho se enfría, el segundo lecho se calienta y el tercer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes; supervisar una cantidad de movimiento del buque, o un nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, o ambos; y si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes es menor o igual a un valor predeterminado, hacer funcionar la unidad de adsorción por cambio de temperatura en el ciclo de deshidratación; si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes es mayor que el valor predeterminado, determinar si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de calentamiento, la etapa de enfriamiento o la etapa de reposo; si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de calentamiento, iniciar una etapa de transición en la que el segundo lecho continúa calentándose hasta que se completa la etapa de calentamiento y el al menos un primer lecho y el tercer lecho se alimentan igualmente con la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes; e iniciar el ciclo de eliminación de CO₂; y si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de enfriamiento o la etapa de reposo, iniciar el ciclo de eliminación de CO₂. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la segunda realización de este párrafo, que comprende, además, después de al menos un ciclo de eliminación de CO₂, cuando la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de gas natural de bajo contenido de azufre cae por debajo de o es igual al valor predeterminado, iniciar el ciclo de deshidratación. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo, a través de la segunda realización de este párrafo, en la que se supervisa la cantidad de movimiento del buque. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la segunda realización de este párrafo, en la que se supervisa el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes y en la que el nivel predeterminado de CO₂ es de 50 ppm. Una realización de la invención es una, cualquiera o todas las realizaciones anteriores de este párrafo a través de la segunda realización de este párrafo que comprende además introducir la alimentación de gas natural pretratado en una unidad de licuefacción.

En lo anterior, todas las temperaturas se indican en grados Celsius y todas las partes y porcentajes están en peso, a menos que se indique lo contrario.

REIVINDICACIONES

1. Método de pretratamiento de una corriente de gas natural para una planta flotante de gas natural licuado que comprende:
- 5 introducir una corriente de alimentación de gas natural en una unidad de absorción de amina para reducir un nivel de azufre, de CO₂ o de ambos para formar una corriente de alimentación de gas natural con menos contaminantes, estando la unidad de absorción de amina situada en un buque;
- 10 introducir la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes en una unidad de adsorción por cambio de temperatura para reducir un nivel de H₂O, de CO₂ o de ambos; estando situada la unidad de adsorción por cambio de temperatura en el buque; teniendo la unidad de adsorción por cambio de temperatura un ciclo de deshidratación y un ciclo de eliminación de CO₂;
- supervisar una cantidad de movimiento del buque, o un nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, o ambos;
- si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes es menor o igual a un valor predeterminado,
- 15 hacer funcionar la unidad de adsorción por cambio de temperatura en el ciclo de deshidratación; y si la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes es mayor que el valor predeterminado, iniciar el ciclo de eliminación de CO₂.
2. Método según la reivindicación 1, que comprende, además:
- 20 después de al menos un ciclo de eliminación de CO₂, cuando la cantidad de movimiento del buque o el nivel de CO₂ en la corriente de gas natural de bajo contenido de azufre cae por debajo de o es igual al valor predeterminado, iniciar el ciclo de deshidratación.
3. Método según la reivindicación 1, en el que el ciclo de deshidratación comprende una etapa de calentamiento en la que al menos un primer lecho se alimenta con al menos una parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, se calienta un segundo lecho y un tercer lecho está inactivo; una etapa de enfriamiento en la que al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, se enfría el segundo lecho y el tercer lecho está inactivo; y una etapa de reposo en la que al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, y los lechos segundo y tercero están inactivos.
- 25
4. Método según la reivindicación 3, en el que el inicio del ciclo de eliminación de CO₂ comprende:
- 30 determinar si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de calentamiento, la etapa de enfriamiento o la etapa de reposo;
- si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de calentamiento, iniciar una etapa de transición en la que el segundo lecho continúa calentándose hasta que se completa la etapa de calentamiento y el al menos un primer lecho y el tercer lecho se alimentan igualmente con la corriente de alimentación de gas natural que
- 35 tiene menos contaminantes; e iniciar el ciclo de eliminación de CO₂; y
- si la unidad de adsorción por cambio de temperatura está en la etapa de enfriamiento o en la etapa de reposo, iniciar el ciclo de eliminación de CO₂.
5. Método según la reivindicación 4, que comprende además esperar un periodo de tiempo al menos igual a un periodo de tiempo de una etapa del ciclo de eliminación de CO₂ después de que se completa la etapa de calentamiento, antes de alimentar a partes iguales el al menos un primer lecho y el tercer lecho.
- 40
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el ciclo de eliminación de CO₂ comprende una primera etapa en la que el al menos un primer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, el segundo lecho se enfría y el tercer lecho se calienta; una segunda etapa en la que se calienta el al menos un primer lecho, el segundo lecho se alimenta con al menos la
- 45 parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes y se enfría el tercer lecho; y una tercera etapa en la que el al menos un primer lecho se enfría, el segundo lecho se calienta y el tercer lecho se alimenta con al menos la parte de la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que se supervisa el nivel de CO₂ en la corriente de alimentación de gas natural que tiene menos contaminantes, y en el que el nivel predeterminado de CO₂ es de 50
- 50 ppm.

8. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que un adsorbente en la unidad de adsorción por cambio de temperatura es un tamiz molecular, alúmina, gel de sílice, un adsorbente de óxido mixto o combinaciones de los mismos.
- 5 9. Método según la reivindicación 8, en el que el adsorbente es el tamiz molecular, y en el que el tamiz molecular comprende zeolita X, zeolita A, zeolita Y o combinaciones de las mismas.
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la unidad de adsorción por cambio de temperatura incluye al menos tres lechos.

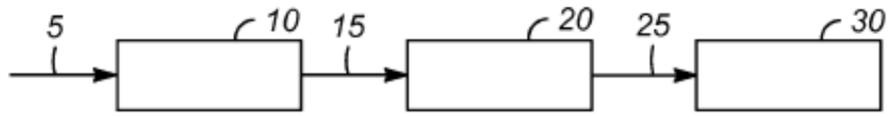


FIG. 1

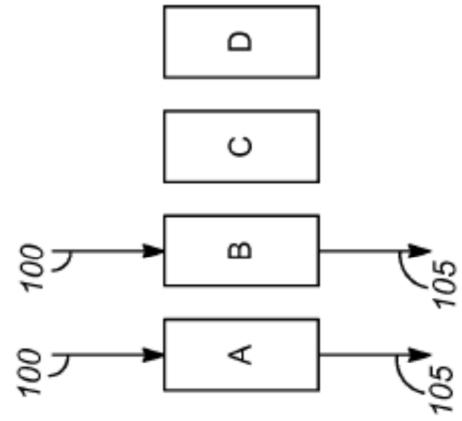


FIG. 2C

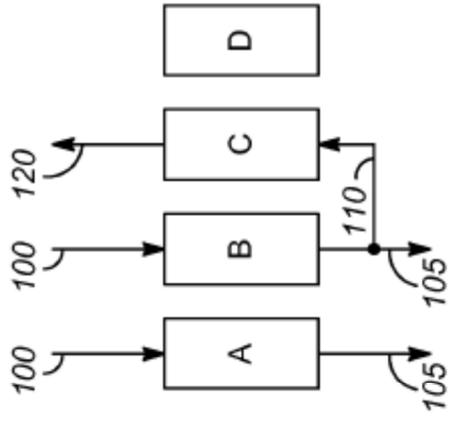


FIG. 2B

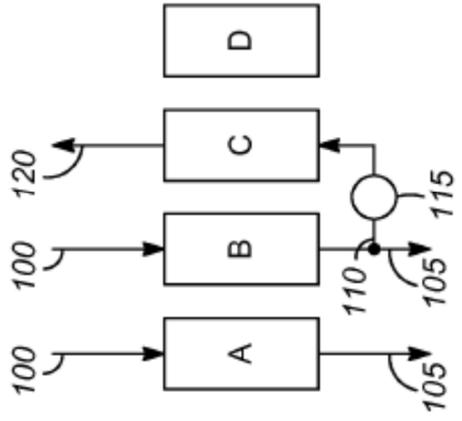


FIG. 2A

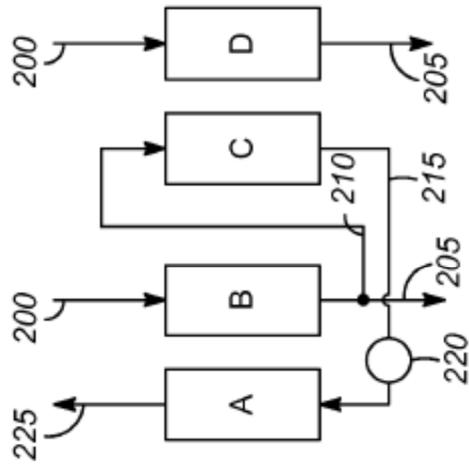


FIG. 3B

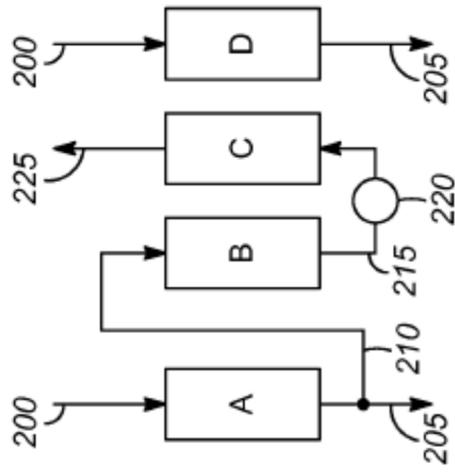


FIG. 3A

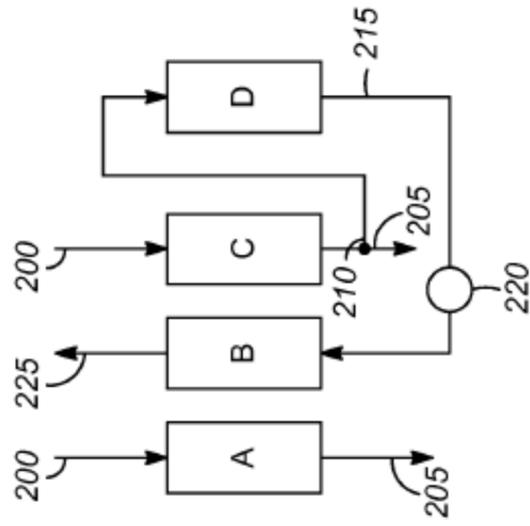


FIG. 3D

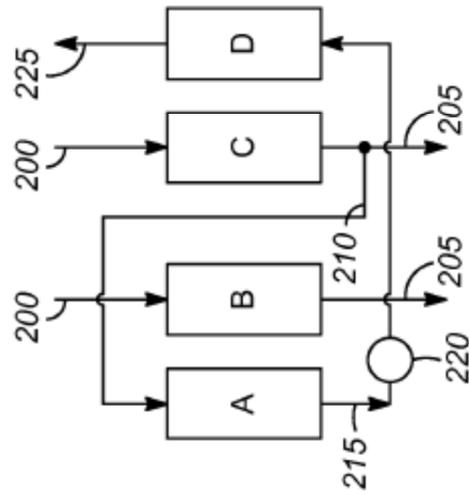


FIG. 3C