



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 355 467**

② Número de solicitud: 200930684

⑤ Int. Cl.:  
**F25J 1/02** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **11.09.2009**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **28.03.2011**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**28.03.2011**

⑰ Solicitante/s: **REPSOL YPF, S.A.**  
**Paseo de la Castellana, 278**  
**28046 Madrid, ES**

⑱ Inventor/es: **Migliore, Calogero;**  
**Pérez Díaz, Silvia y**  
**Coll Francés, Roberto**

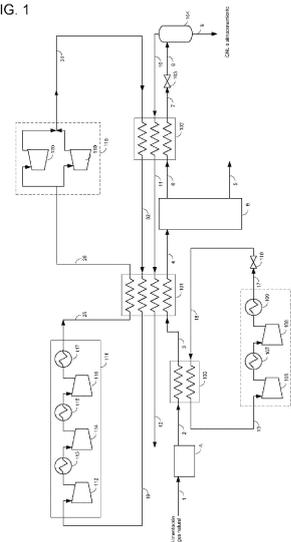
⑳ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

⑳ Título: **Proceso y sistema para obtener gas natural licuado.**

㉑ Resumen:

Proceso y sistema para obtener gas natural licuado. La presente invención describe un proceso para obtener gas natural licuado (GNL) empleando aire como refrigerante principal, y donde el gas natural pasa previamente por un ciclo de preenfriamiento con otro refrigerante distinto del aire.

FIG. 1



ES 2 355 467 A1

**DESCRIPCIÓN**

Proceso y sistema para obtener gas natural licuado.

**5 Objeto de la invención**

El objeto principal de la presente invención es un proceso para obtener gas natural licuado (GNL) empleando aire como refrigerante principal, y donde el gas natural pasa previamente por un ciclo de preenfriamiento con otro refrigerante distinto del aire.

10

**Antecedentes de la invención**

Los yacimientos de gas natural con frecuencia se encuentran en lugares muy alejados de los puntos de consumo, como por ejemplo en alta mar. El gas natural se puede transportar desde el yacimiento utilizando gasoductos, aunque grandes distancias o impedimentos geográficos han hecho que se desarrollen alternativas para facilitar dicho transporte. Una de las más habituales es su licuación para el transporte en forma líquida en barcos denominados metaneros, a presión atmosférica y a  $-161^{\circ}\text{C}$ ; la licuación reduce en 600 veces el volumen de gas transportado.

15

20

Sin embargo, la localización "offshore" (costa afuera) dificulta el empleo de una planta de licuación para la monetización de dichos yacimientos por la complejidad que llevan asociadas este tipo de plantas y el reducido espacio disponible. Entre los inconvenientes presentes en la licuación "offshore" se situarían las dificultades logísticas provocadas por la necesidad de transportar el fluido refrigerante empleado para conseguir la licuación del gas. La falta de espacio en estas instalaciones provoca que los refrigerantes habitualmente empleados en las plantas de licuación no sean adecuados.

25

**Descripción de la invención**

La presente invención se refiere a un nuevo proceso y sistema capaz de licuar gas natural para producir gas natural licuado (GNL), donde un primer ciclo de refrigeración que utiliza un refrigerante distinto de aire realiza un preenfriamiento de la corriente de gas natural, y un segundo ciclo de refrigeración que utiliza fundamentalmente aire como refrigerante realiza el enfriamiento y la licuación del gas natural.

30

La presente invención tiene una mejor eficiencia térmica que un proceso de licuación basado en el uso de aire como único refrigerante. Además, este sistema es fácilmente reproducible en cualquier localización, incluyendo campos de gas natural pequeños o medianos situados mar adentro (offshore), para los que el proceso se desarrollaría encima de una o varias estructuras fijas (como plataformas), estructuras flotantes en el mar (como barcos o barcasas), o combinación de las anteriores. En el presente documento, por tanto, el término "estructura" hace referencia todas estas opciones. La invención es particularmente ventajosa en estos casos por el menor espacio requerido encima de la plataforma respecto a otros procesos alternativos basados únicamente en el uso de mezclas de hidrocarburos.

35

40

Así, un primer aspecto de esta invención se refiere a un proceso realizado sobre al menos una estructura en alta mar para obtener gas natural licuado que comprende un primer ciclo de preenfriamiento del gas natural con un refrigerante distinto de aire y un segundo ciclo de refrigeración con aire como refrigerante para el enfriamiento y la licuación del gas natural.

45

En una realización preferente de la invención, el ciclo de refrigeración con un refrigerante distinto del aire comprende realizar al menos una etapa de compresión del refrigerante distinto de aire seguida de una expansión para conseguir su enfriamiento, y el empleo de la corriente de refrigerante distinto de aire así enfriada para preenfriar el gas natural en un primer intercambiador de calor.

50

Particularmente, el refrigerante distinto de aire puede ser  $\text{NH}_3$ , hidrofluorocarbonos (HFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC),  $\text{CO}_2$ , nitrógeno, o hidrocarburos, entre otros, ya sea como compuestos puros o en mezclas.

Además, en otra realización de la presente invención, el gas natural puede ser pretratado antes del ciclo de preenfriamiento. Son conocidas varias configuraciones de pretratamiento en el estado del arte dependiendo de la localización y del tipo y composición del contaminante, aunque típicamente comprende la eliminación  $\text{Hg}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , entre otros.

55

Opcionalmente, el proceso puede además comprender la etapa de separar el gas natural de sus líquidos de gas natural, antes de la licuación. El término "Líquidos del Gas Natural (LGN)" usado aquí se refiere a los componentes menos volátiles del gas natural, desde el etano a hidrocarburos superiores (propano, butano, isobutano y gasolina, la última a veces denominada condensado), con un contenido menor en metano.

60

En otra realización particular de la invención, el segundo ciclo de refrigeración empleando aire como refrigerante comprende las siguientes operaciones:

65

- realizar al menos una etapa de compresión de una corriente de aire;

## ES 2 355 467 A1

- enfriar dicha corriente de aire comprimido en un segundo intercambiador de calor, en el que el gas natural preenfriado sufre también un enfriamiento adicional, gracias a la corriente de aire refrigerante a baja presión que circula en contracorriente;

5 - expandir la corriente de aire a alta presión que sale de dicho intercambiador de calor para reducir su presión y conseguir un mayor enfriamiento; y

10 - emplear dicha corriente de aire después de la expansión para enfriar aún más la corriente de gas natural en un tercer intercambiador de calor, pasando dicha corriente de aire a baja presión, a la salida del tercer intercambiador, por el segundo intercambiador. Por otro lado, la corriente de gas natural a la salida del tercer intercambiador se expande antes de pasar a un separador donde se separa el gas natural licuado (GNL) del gas de end-flash.

15 En otra realización de la invención, la corriente de gas de end-flash final obtenida como subproducto de la licuación se hace pasar respectivamente por el tercer intercambiador y por el segundo intercambiador para ayudar a enfriar las corrientes de gas natural y de aire, aprovechándose así su energía criogénica. A la salida de los intercambiadores, se puede emplear como combustible, por ejemplo para las turbinas de gas del proceso, entre otros posibles usos.

20 El segundo ciclo de refrigeración con aire puede ser abierto o cerrado. Cuando el ciclo es abierto, el aire se toma de forma continua del ambiente, en condiciones atmosféricas, se trata para eliminar CO<sub>2</sub> y agua, se usa para enfriar gas natural de acuerdo a los pasos anteriores, y se devuelve a la atmósfera. Cuando el ciclo es cerrado, el aire usado para enfriar el gas natural se recircula, siendo únicamente necesario aportar una pequeña cantidad de aire tratado para compensar pérdidas (make-up).

25 En una realización de la presente invención, particularmente adecuada cuando el gas natural es rico en componentes pesados, el gas natural se preenfrija en un primer intercambiador de calor hasta una temperatura situada en un rango entre -10°C y -50°C. A continuación, el gas natural entra en un segundo intercambiador, donde se enfría hasta una temperatura que permite la condensación de los líquidos de gas natural (LGN) en la proporción requerida. Esta temperatura depende de la composición del gas de alimentación, de las especificaciones del GNL, y de los requerimientos particulares de recuperación y/o pureza de los componentes pesados extraídos, siendo típicamente superior a -100°C. El resultado de la etapa anterior es una corriente gaseosa típicamente compuesta por todo el metano y nitrógeno de la alimentación inicial, la cantidad deseada de etano, y cantidades residuales de los componentes más pesados (propano y superiores).

35 A continuación, esta corriente de gas natural pasa a un tercer intercambiador de calor donde se enfría con aire hasta que es total o casi totalmente licuada. La temperatura a la cual el gas natural sale de este intercambiador no es inferior a -170°C.

40 En una realización alternativa, el preenfriamiento y la licuación pueden llevarse a cabo utilizando únicamente dos intercambiadores, uno para cada etapa. En este caso, la extracción de los LGN se efectúa tras llevar a cabo el preenfriamiento del gas natural en el primer intercambiador de calor.

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un sistema para llevar a cabo el proceso previamente descrito que comprende los siguientes equipos:

45 - al menos un compresor y un enfriador para comprimir y enfriar la corriente de refrigerante distinto de aire;

- un primer intercambiador de calor para preenfriar la corriente de gas natural con la corriente de refrigerante distinto de aire;

50 - al menos un compresor y un enfriador para comprimir y enfriar una corriente de aire;

- un segundo intercambiador de calor para realizar un enfriamiento de la corriente de gas natural preenfriada y de la corriente de aire comprimida utilizando la corriente de aire refrigerante a baja presión;

55 - al menos un dispositivo de expansión para permitir la expansión de la corriente de aire a alta presión que sale del segundo intercambiador de calor;

60 - un tercer intercambiador de calor para realizar un enfriamiento de la corriente de gas natural con la corriente de aire tras su expansión;

- un dispositivo de expansión para permitir la expansión de la corriente de gas natural; y

65 - un separador que separa la corriente de gas natural en gas natural licuado y gas de end-flash.

## ES 2 355 467 A1

A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de estos elementos, así como de algunos otros no mencionados explícitamente en la lista anterior.

5 - Intercambiadores de calor. En la presente invención se puede utilizar cualquier tipo de intercambiador de calor. Para el ciclo de preenfriamiento, los intercambiadores pueden ser preferentemente de carcasa y tubos o de placas y aletas, mientras que para el ciclo de aire, se prefieren intercambiadores de placas y aletas. El número mínimo de intercambiadores en el lado del gas natural es uno.

10 - Expansores. Ejemplos de expansores adecuados son las válvulas Joule Thompson (J-T) y los turboexpansores. En el lado del aire, se necesita al menos un expansor para expandir el aire; si se requiere, pueden utilizarse varios expansores en paralelo. Los expansores de aire pueden acoplarse a uno o más compresores para recuperar la potencia. Alternativamente, esa potencia puede utilizarse para otros propósitos, como generación eléctrica. En el lado del refrigerante distinto del aire, se necesita al menos un expansor para expandir el refrigerante distinto de aire antes de usarlo en el preenfriamiento del gas natural. En el lado del gas natural, se necesita al menos un expansor para expandir el líquido obtenido en la sección de intercambio de calor.

20 - Compresores. Se requiere al menos uno para comprimir el refrigerante aire. Si el preenfriamiento se realiza con un ciclo de compresión, entonces como mínimo se requerirán dos compresores, uno para el ciclo de preenfriamiento y otro para el ciclo de aire. El número de etapas de compresión de los ciclos depende de la optimización del proceso. Las zonas de compresión comprenden preferiblemente uno o más intercambiadores de calor entre los compresores (intercoolers), en el caso en que se utilice más de un compresor, y uno o más intercambiadores después del último compresor (aftercoolers). Todos estos intercambiadores utilizan preferentemente agua como medio refrigerante. Otro compresor adicional junto con su sistema de refrigeración puede ser requerido para alimentar el gas del flash final a las turbinas.

25 - Accionadores de los compresores para todas las etapas de compresión, excepto si están directamente acopladas al expansor de aire. Pueden ser turbinas de gas, turbinas de vapor o motores eléctricos.

30 - Columna para extracción de LGN. Si se requiere fraccionamiento de LGN, más de una columna puede ser necesaria.

35 A menos que se defina de otra manera, todos los términos técnicos y científicos utilizados aquí tienen el mismo significado entendido comúnmente por aquellos expertos en la materia a la que esta invención pertenece. Los métodos y materiales similares o equivalentes a los descritos aquí pueden utilizarse en la práctica de la presente invención.

40 En la descripción y reivindicaciones, la palabra "comprende" y sus variaciones no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos. Objetivos, ventajas y características adicionales de la invención serán evidentes a los expertos en la materia tras el examen de la descripción, o pueden deducirse de la práctica de la invención.

45 Los siguientes ejemplos y dibujos se proporcionan a efectos ilustrativos y no tienen intención de limitar el alcance de la presente invención. Diversos subsistemas requeridos como válvulas, sistemas de control, sensores, y estructuras de soporte han sido suprimidos de las figuras para mejorar la simplicidad y claridad de la presentación.

### Descripción de los dibujos

50 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

55 Figura 1.- muestra un ejemplo de la presente invención aplicada a la licuación de una corriente de gas natural. El esquema mostrado en la Fig. 1 consta de una primera etapa de preenfriamiento del gas natural y una segunda etapa de licuación. La licuación se consigue mediante un ciclo cerrado en el que se usa aire como refrigerante.

Figura 2.- muestra una modificación del esquema mostrado en la Fig. 1 donde el aire usado como refrigerante para la licuación del gas natural fluye en un ciclo abierto.

### 60 Realización preferente de la invención

#### Ejemplo 1

65 El Ejemplo 1 se basa en el esquema mostrado en la Fig. 1 en el que el refrigerante utilizado en la etapa de preenfriamiento del gas natural es propano. En este ejemplo, la corriente de gas natural de alimentación (corriente 1) se trata en una planta de pretratamiento A convencional para eliminar el CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, agua y mercurio. El gas tratado, corriente 2, se corresponde con una corriente dulce y seca de gas natural a 15°C y 30,1 bar. La corriente 2 tiene la composición molar indicada en la Tabla 1.

# ES 2 355 467 A1

TABLA 1

Composición del gas tratado	
Componente	Fracción molar
Nitrógeno	0,0020
Metano	0,8387
Etano	0,1204
Propano	0,0274
n-Butano	0,0081
n-Pentano	0,0034

La corriente 2 entra en la etapa de preenfriamiento, pasando a través del intercambiador de calor 100, hasta obtener una corriente 3 a -30°C. La corriente de gas natural pre-enfriado (corriente 3) entra en la etapa de licuación, pasando a través de los intercambiadores de calor 101, 102 para obtener un líquido subenfriado a alta presión, corriente 7. En el primer intercambiador de calor 101, el gas natural es enfriado hasta una temperatura intermedia de aproximadamente -69°C (corriente 4), para condensar los líquidos del gas natural. La corriente 4 entra en una columna B donde los líquidos del gas natural se extraen como corriente 5 por el fondo, mientras que el gas pobre, corriente 6, sale de la columna por la cabeza. La corriente 5 se dirige a la zona de fraccionamiento si se requiere productos específicos como propano y butano.

El gas natural pobre (corriente 6) entra en el intercambiador de calor 102 y se enfría hasta una temperatura aproximada de -130°C, obteniendo una corriente líquida subenfriada a alta presión (corriente 7), que se dirige a una válvula J-T 103, a través de la cual la corriente 7 se expande adiabáticamente a 1,1 bar (corriente 8) y se dirige finalmente a un recipiente 104, en el que se produce una separación de la fase líquida y la fase vapor, produciendo GNL a almacenamiento (corriente 9) y una corriente de gas de end-flash (corriente 10), ambos aproximadamente a -160°C y 1,1 bar.

La corriente 10 se recircula a los intercambiadores de calor 102 y 101, respectivamente, donde se recupera la energía criogénica de esta corriente. Así, la corriente 11 sale del intercambiador de calor 102 a -90,8°C, que es calentada aún más en el intercambiador de calor 101 hasta la temperatura de 15°C (corriente 12). Esta corriente 12 puede usarse como combustible dentro de la planta. En caso de que este combustible vaya a turbinas de gas, la corriente 12 típicamente necesitará aumentar su presión por medio de un compresor antes de ser introducido en ellas.

En este ejemplo, los intercambiadores de calor usados en el lado del gas natural son: intercambiador de calor de tipo carcasa y tubo para el pre-enfriamiento con propano e intercambiadores de calor de placas y aletas para la licuación con aire.

A continuación se describe el ciclo de propano que convierte la corriente de gas natural 2 en la corriente de gas natural preenfriado (corriente 3), empezando por la corriente de propano 13 que ha hecho uso de todas o la mayoría de sus propiedades refrigerantes absorbiendo calor del gas de alimentación. La corriente 13, aproximadamente a 10°C, que está a la menor presión del ciclo (alrededor de 1,4 bar), entra y se recomprime en una unidad de compresión multietapa 105, que cuenta con etapas de enfriado intermedio y post-enfriado, para producir la corriente comprimida 17. La zona de compresión comprende dos compresores 106 y 108, con un intercambiador de calor 107 entre ellos y un intercambiador de calor 109 después del compresor 108. Los intercambiadores de calor 107 y 109 usan agua como medio refrigerante. La corriente comprimida 17 sale de la unidad de compresión 105 a 40°C y 17,5 bar y pasa por una válvula 110 que reduce su presión y temperatura, hasta obtener la corriente 18, a -32,6°C y 1,5 bar. Esta corriente pasa por el intercambiador de calor 100, donde proporciona el frío necesario para pre-enfriar la corriente de gas natural 2, sale como corriente 13 y empieza el ciclo de nuevo.

A continuación se describe el ciclo de refrigeración de aire que convierte la corriente de gas natural preenfriado 3 en la corriente líquida 7, empezando por la corriente de aire 19 que ha hecho uso de todas o la mayoría de sus propiedades refrigerantes absorbiendo calor del gas natural. La corriente 19, aproximadamente a 37°C, está a la menor presión del ciclo (alrededor de 2 bar) y entra y se recomprime en una unidad de compresión multietapa 111, que cuenta con etapas de enfriamiento intermedio y postenfriamiento, para producir la corriente comprimida 25. La zona de compresión comprende tres compresores 112, 114 y 116, con un intercambiador de calor 113 entre los compresores 112 y 114, un intercambiador de calor 115 entre los compresores 114 y 116 y un intercambiador de calor 117 después del compresor 116. Los intercambiadores de calor 113, 115 y 117 usan agua como medio refrigerante. La corriente comprimida 25

## ES 2 355 467 A1

sale de la unidad de compresión 111 a 40°C y 30 bar y se dirige al intercambiador de calor 101, donde se enfría a -37,8°C por el paso a contracorriente de la corriente de aire refrigerante 32 y la corriente 11 de gas de end-flash. La corriente 25 sale como corriente 26 del intercambiador de calor 101 y pasa a la zona de expansión 118, donde reduce la presión y temperatura de la corriente de aire 26, dando lugar a la corriente 31. La zona de expansión comprende dos turboexpansores 119 y 120 en paralelo y se usa para proporcionar parte de la potencia para los compresores de la unidad de compresión 111. La corriente de aire 31 (que ha sido expandida en la zona de expansión 118) está a 2,15 bar y una temperatura de -143°C. Esta corriente pasa a través de los intercambiadores de calor 102 y 101, respectivamente. En el intercambiador de calor 102, la corriente 31 proporciona suficiente frío para licuar la corriente de gas natural 6 y formar gas natural licuado (corriente 7). La corriente 31 sale del intercambiador de calor 102 como corriente 32 a una temperatura de -71°C y entra en el intercambiador de calor 101, donde enfría tanto al gas natural (corriente 3) como al aire comprimido (corriente 25). La corriente 32 abandona el intercambiador de calor 101 como corriente 19 y empieza el ciclo de nuevo.

El ciclo de aire tendrá un punto de make-up para compensar las pérdidas de aire en el ciclo. El aire de make-up (compensación) tendrá que ser tratado en instalaciones de tratamiento para eliminar el CO<sub>2</sub> y el agua que contenga.

Asimismo, el ciclo de propano tendrá también un punto de make-up que compense las pérdidas de propano en el ciclo.

La Tabla 2 muestra las condiciones de operación de las principales corrientes de la Fig. 1 aplicada al Ejemplo 1.

TABLA 2

Corriente	P (bar)	T (°C)
2	30,1	15
3	30	-30
4	29,8	-68,6
6	29,8	-68,6
7	29,6	-130,4
8	1,1	-159,4
9	1,1	-159,4
10	1,1	-159,4
11	1,05	-90,8
12	1	15
13	1,4	10
17	17,5	40
18	1,5	-32,6
19	1,95	37,5
25	30	40
26	29,9	-37,8
31	2,15	-143
32	2,05	-71

## ES 2 355 467 A1

### Ejemplo 2

La Fig. 1 sirve asimismo para ilustrar un segundo ejemplo de la presente invención, aplicada en este caso a la licuación de una corriente de gas natural usando CO<sub>2</sub> como refrigerante en la primera etapa de preenfriamiento y aire como refrigerante en la segunda etapa en la que se consigue la licuación final del gas natural. El aire refrigerante circula en un ciclo cerrado.

La descripción del proceso es análoga a la indicada en el Ejemplo 1, con la salvedad de que en este caso el ciclo de preenfriamiento del gas natural contiene CO<sub>2</sub> y toma las mismas hipótesis en cuanto a composición del gas natural de entrada. Las condiciones de operación de las principales corrientes de la Fig.1 aplicada al Ejemplo 2 se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3

Corriente	P (bar)	T (°C)
2	30,1	15
3	30	-31
4	29,8	-68,6
6	29,8	-68,6
7	29,6	-130,4
8	1,1	-159,4
9	1,1	-159,4
10	1,1	-159,4
11	1,05	-90,8
12	1	15
13	5,5	10
17	61,9	40
18	5,6	-34
19	1,95	36,9
25	30	40
26	29,9	-37,8
31	2,15	-143
32	2,05	-71

### Ejemplo 3

La Fig. 2 muestra otro ejemplo de la presente invención. El ejemplo mostrado en la Fig.2 tiene, como modificación al esquema mostrado por la Fig. 1, que el aire usado como refrigerante para la licuación del gas natural fluye en un ciclo abierto.

El Ejemplo 3, basado en la Fig. 2, muestra un ejemplo de la presente invención aplicada a la licuación de una corriente de gas natural usando propano como refrigerante en una primera etapa de preenfriamiento y aire como refrigerante en una segunda etapa en la que se consigue la licuación final del gas natural, circulando el aire en ciclo abierto.

## ES 2 355 467 A1

La corriente de gas natural de alimentación (corriente 1) se trata en una planta de pretratamiento A convencional para eliminar el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , agua y mercurio. El gas tratado, corriente 2, se corresponde con una corriente dulce y seca de gas natural a  $15^\circ\text{C}$  y 30,1 bar. La corriente 2 tiene la composición molar indicada en la Tabla 1.

5 La corriente 2 entra en la etapa de preenfriamiento, pasando a través del intercambiador de calor 100, hasta obtener una corriente 3 a  $-30^\circ\text{C}$ . La corriente de gas natural preenfriado (corriente 3) entra en la etapa de licuación, pasando a través de los intercambiadores de calor 101, 102 para obtener un líquido subenfriado a alta presión, corriente 7. En el primer intercambiador de calor 101, el gas natural es enfriado hasta una temperatura intermedia de aproximadamente  $-69^\circ\text{C}$  (corriente 4), para condensar los líquidos del gas natural. La corriente 4 entra en una columna B donde los  
10 líquidos del gas natural se extraen como corriente 5 por el fondo, mientras que el gas pobre, corriente 6, sale de la columna por la cabeza. La corriente 5 se dirige a la zona de fraccionamiento si se requiere productos específicos como propano y butano.

15 El gas natural pobre (corriente 6) entra en el intercambiador de calor 102 y se enfría hasta una temperatura aproximada de  $-130^\circ\text{C}$ , obteniendo una corriente líquida subenfriada a alta presión (corriente 7), que se dirige a una válvula J-T 103, a través de la cual la corriente 7 se expande adiabáticamente a 1,1 bar (corriente 8) y se dirige finalmente a un recipiente 104, en el que se produce una separación de la fase líquida y la fase vapor, produciendo GNL a almacenamiento (corriente 9) y una corriente de gas de end-flash (corriente 10), ambos aproximadamente a  $-160^\circ\text{C}$  y 1,1 bar.

20 La corriente 10 se recircula a los intercambiadores de calor 102 y 101, respectivamente, donde se recupera la energía criogénica de esta corriente. Así, la corriente 11 sale del intercambiador de calor 102 a  $-90,8^\circ\text{C}$ , y es calentada aún más en el intercambiador de calor 101 hasta la temperatura de  $15^\circ\text{C}$  (corriente 12). Esta corriente 12 puede usarse como combustible dentro de la planta.

25 A continuación se describe el ciclo de propano que convierte la corriente de gas natural 2 en la corriente de gas natural preenfriado (corriente 3), empezando por la corriente de propano 13 que ha hecho uso de todas o la mayoría de sus propiedades refrigerantes absorbiendo calor del gas de alimentación. La corriente 13, aproximadamente a  $10^\circ\text{C}$ , que está a la menor presión del ciclo (alrededor de 1,4 bar), entra y se recomprime en una unidad de compresión multietapa 105, que cuenta con etapas de enfriado intermedio y post-enfriado, para producir la corriente comprimida 17. La zona de compresión comprende dos compresores 106 y 108, con un intercambiador de calor 107 entre ellos y un intercambiador de calor 109 después del compresor 108. Los intercambiadores de calor 107 y 109 usan agua como medio refrigerante. La corriente comprimida 17 sale de la unidad de compresión 105 a  $40^\circ\text{C}$  y 17,5 bar, y pasa por una  
30 válvula 110 que reduce su presión y temperatura hasta obtener la corriente 18, a  $-32,6^\circ\text{C}$  y 1,5 bar. Esta corriente pasa por el intercambiador de calor 100, donde proporciona el frío necesario para pre-enfriar la corriente de gas natural 2. La corriente 18 sale del intercambiador de calor 100 como corriente 13 y empieza el ciclo de nuevo.

35 El ciclo de refrigeración de aire, en la Fig. 2, es un ciclo abierto. En este ciclo, el aire es tomado de forma continua de la atmósfera a condiciones ambientales (corriente 19\*). La corriente 19\* entra en la planta de tratamiento C, que se encarga de eliminar el  $\text{CO}_2$  y el agua que contenga el aire y sale de la planta como corriente 19 ( $15^\circ\text{C}$  y 1 bar). La corriente 19 se comprime en una unidad de compresión multietapa 111, que cuenta con etapas de enfriado intermedio y post-enfriado, para producir la corriente comprimida 25, que sale de la unidad de compresión 111 a  $40^\circ\text{C}$  y 16 bar. Esta corriente se dirige al intercambiador de calor 101, donde se enfría a  $-33,5^\circ\text{C}$  (corriente 26) por el paso a contracorriente de la corriente de aire refrigerante 32 y la corriente 11 de gas de end-flash. La corriente 26 pasa a la zona de expansión  
40 118, donde la presión y la temperatura se reducen hasta 1,2 bar y  $-137,2^\circ\text{C}$ , respectivamente (corriente 31). La corriente 31 pasa a través de los intercambiadores de calor 102 y 101, respectivamente. En el intercambiador de calor 102, la corriente 31 proporciona suficiente frío para licuar la corriente de gas natural 6 y formar gas natural licuado (corriente 7). La corriente 31 sale del intercambiador de calor 102 como corriente 32 a una temperatura de  $-78,1^\circ\text{C}$  y entra en el intercambiador de calor 101, donde enfría tanto al gas natural (corriente 3) como al aire comprimido (corriente 25).  
50 La corriente 33 sale del intercambiador de calor 101 a aproximadamente  $19^\circ\text{C}$  y 1 bar, y es liberada directamente a la atmósfera.

La Tabla 4 muestra las condiciones de operación de las corrientes principales de la Fig. 2 aplicada al Ejemplo 3.

55

60

65

TABLA 4

Corriente	P (bar)	T (°C)
2	30,1	15
3	30	-30
4	29,8	-68,6
6	29,8	-68,5
7	29,6	-130,4
8	1,1	-159,4
9	1,1	-159,4
10	1,1	-159,4
11	1,05	-90,8
12	1	15
13	1,4	10
17	17,5	40
18	1,5	-32,6
19	1	15
25	16	40
26	15,9	-33,5
31	1,2	-137,2
32	1,1	-78,1
33	1	18,9

## Ejemplo 4

La Fig. 2 sirve asimismo para ilustrar un cuarto ejemplo de la presente invención, aplicada en este caso a la licuación de una corriente de gas natural usando CO<sub>2</sub> como refrigerante en la primera etapa de preenfriamiento y aire como refrigerante en la segunda etapa en la que se consigue la licuación final del gas natural. El aire refrigerante circula en un ciclo abierto.

La descripción del proceso es análoga a la indicada en el Ejemplo 3, con la salvedad de que en este caso el ciclo de preenfriamiento del gas natural contiene CO<sub>2</sub> y toma las mismas hipótesis en cuanto a composición del gas natural de entrada. Las condiciones de operación de las principales corrientes de la Fig. 2 aplicada al Ejemplo 4 se muestran en la Tabla 5.

# ES 2 355 467 A1

TABLA 5

	Corriente	P (bar)	T (°C)
5	2	30,1	15
	3	30	-31
10	4	29,8	-68,6
	6	29,8	-68,5
15	7	29,6	-130,4
	8	1,1	-159,4
	9	1,1	-159,4
20	10	1,1	-159,4
	11	1,05	-90,8
25	12	1	15
	13	5,5	10
	17	61,9	40
30	18	5,6	-34
	19	1	15
35	25	16	40
	26	15,9	-33,8
40	31	1,2	-137,3
	32	1,1	-78,3
	33	1	18,5

45

50

55

60

65

**REIVINDICACIONES**

1. Proceso para obtener gas natural licuado (GNL), **caracterizado** porque comprende realizar las siguientes operaciones sobre al menos una estructura situada en alta mar:
- realizar un primer ciclo de refrigeración con un refrigerante distinto de aire para el preenfriamiento de una corriente de gas natural (1, 2), y
  - realizar un segundo ciclo de refrigeración con aire para el enfriamiento y licuación del gas natural preenfriado (3).
2. Proceso de acuerdo con la reivindicación 1 donde el primer ciclo de refrigeración comprende al menos una etapa de compresión de la corriente de refrigerante (13) distinto de aire seguida de una expansión para conseguir su enfriamiento, y el empleo de la corriente de refrigerante enfriada (18) para preenfriar una corriente de gas natural (1) en un primer intercambiador de calor (100), obteniéndose gas natural preenfriado (3).
3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 2, donde el refrigerante se elige de la siguiente lista: NH<sub>3</sub>, hidrofluorocarbonos (HFC), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), CO<sub>2</sub>, nitrógeno, hidrocarburos puros y mezclas de hidrocarburos.
4. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que además comprende la operación previa de extraer de la corriente de gas natural (1) al menos uno de los siguientes compuestos: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O y Hg, obteniéndose la corriente de gas natural (2).
5. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que además comprende la operación de extraer los líquidos de la corriente de gas natural (3 ó 4) después del primer ciclo de refrigeración.
6. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, donde la compresión de la corriente de refrigerante (13) distinto de aire se lleva a cabo en al menos dos etapas de compresión.
7. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 -6, donde la corriente de gas natural (2) tiene una presión de al menos 1 bar.
8. Proceso para obtener gas natural licuado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, donde el segundo ciclo de refrigeración con aire comprende las siguientes operaciones:
- realizar al menos una etapa de compresión de una corriente de aire (19);
  - enfriar dicha corriente de aire comprimido (25) en un segundo intercambiador de calor (101), en el que la corriente de gas natural preenfriado (3) sufre también un enfriamiento adicional, gracias a una corriente de aire refrigerante a baja presión que circula en contracorriente (32);
  - expandir la corriente de aire a alta presión (26) para reducir su presión y conseguir un mayor enfriamiento; y
  - emplear dicha corriente de aire (31) para enfriar la corriente de gas natural (6) en un tercer intercambiador de calor (102), pasando a continuación dicha corriente de aire (32) a baja presión por el segundo intercambiador (101),
  - expandir la corriente de gas natural (7) a la salida del tercer intercambiador de calor (102) antes de pasar a un separador (104) donde se separa el gas natural licuado (9) de un gas de end-flash (10).
9. El proceso de acuerdo con la reivindicación 8, donde el gas de end-flash (10) pasa por el tercer intercambiador de calor (102) y por el segundo intercambiador de calor (101) para recuperar su energía criogénica.
10. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-9, donde la compresión de la corriente de aire (19) se lleva a cabo en al menos dos etapas de compresión.
11. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, donde la corriente de aire (32), tras pasar por el segundo intercambiador (101), vuelve al inicio de la etapa de compresión.
12. El proceso de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, donde la corriente de aire (32), tras pasar por el segundo intercambiador (101), es devuelto a la atmósfera.
13. El proceso de acuerdo con la reivindicación 12, que además comprende una etapa previa de extracción del agua y CO<sub>2</sub> de la corriente de aire (19\*) previa a la compresión de dicha corriente.

## ES 2 355 467 A1

14. Un sistema para obtener gas natural licuado desde una plataforma situada en alta mar, **caracterizado** porque comprende los siguientes componentes:

5 - al menos un compresor (106, 108) y un enfriador (107, 109) para comprimir una corriente de refrigerante (13) distinto de aire;

- un primer intercambiador de calor (100) para preenfriar una corriente de gas natural (2) con la corriente de refrigerante (18) distinto de aire;

10 - al menos un compresor (112, 114, 116) y un enfriador (113, 115, 117) para comprimir una corriente de aire (19);

- un segundo intercambiador de calor (101) para realizar un enfriamiento de la corriente de gas natural (3) preenfriada y de la corriente de aire comprimido (25) con la corriente de aire a baja presión (32), que circula en contracorriente;

15 - al menos un dispositivo de expansión (119, 120) para permitir la expansión de la corriente de aire a alta presión (26);

- un tercer intercambiador de calor (102) para realizar un enfriamiento de la corriente de gas natural (6) con la corriente de aire (31) obtenida tras la expansión;

20 - un dispositivo de expansión (103) para permitir la expansión de la corriente de gas natural (7); y

- un separador (104) que separa la corriente de gas natural (8) en gas natural licuado (9) y gas de end-flash (10).

25 15. El sistema de acuerdo con la reivindicación 14, donde el tercer intercambiador (102) además admite la entrada de la corriente de gas de end-flash (10).

30 16. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-15, donde el segundo intercambiador (101) además admite la entrada de la corriente de gas de end-flash (11).

17. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-16, que además comprende una planta de pretratamiento (A) para la extracción de al menos uno de los compuestos de la siguiente lista: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O y Hg.

35 18. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-17 que además comprende una columna (B) para la extracción de los líquidos del gas natural.

40 19. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-18, que además comprende una planta de pretratamiento (C) para extraer el agua y el CO<sub>2</sub> de la corriente de aire (19').

45

50

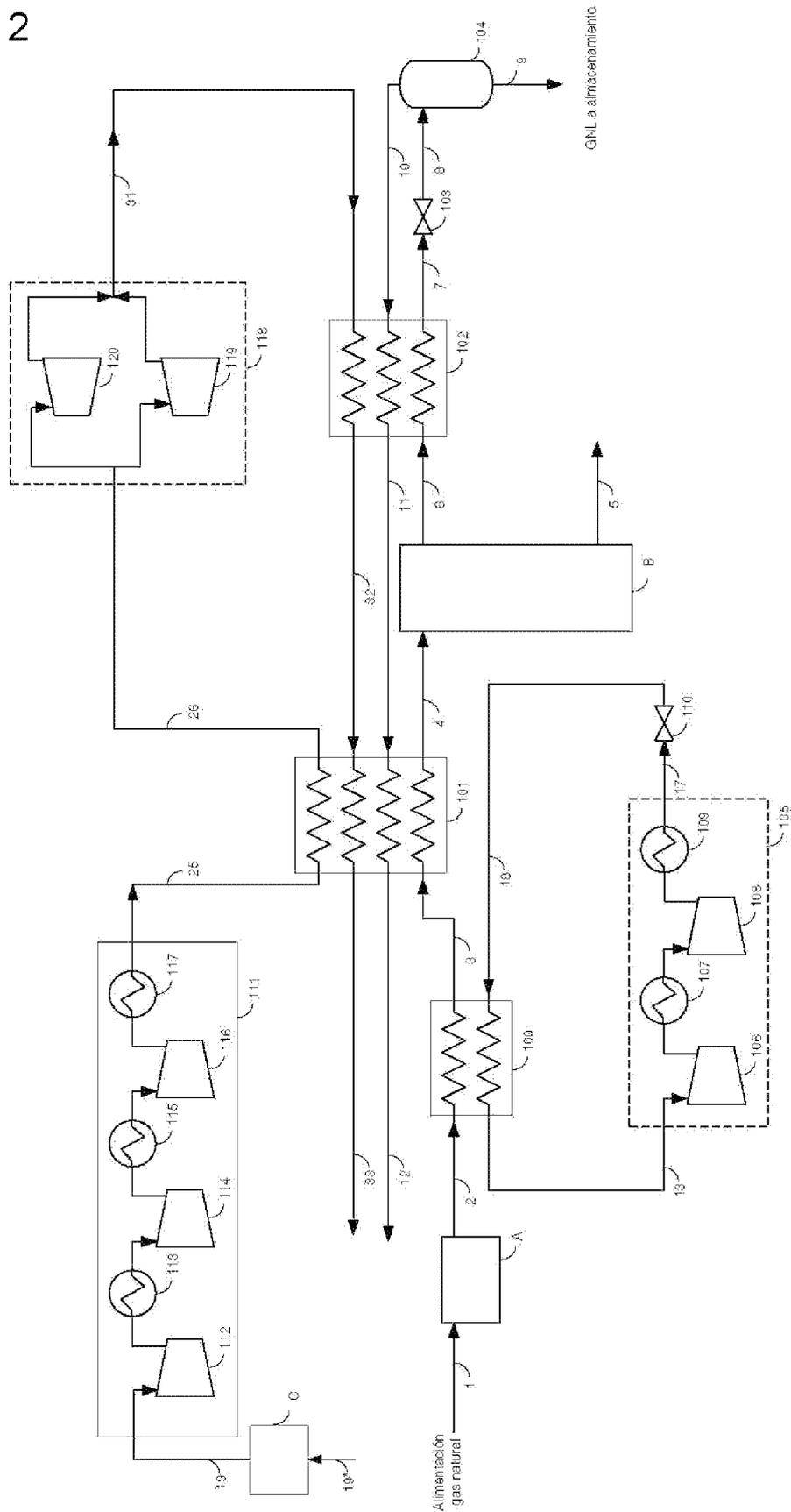
55

60

65



FIG. 2





OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 200930684

②② Fecha de presentación de la solicitud: 11.09.2009

③② Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **F25J1/02** (01.01.2006)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	EP 1939564 A1 (REPSOL YPF S A) 02.07.2008, párrafos [0004]-[0032]; figuras 1-2.	1-19
Y	MCINTOSH, A. et al. "Moving Natural Gas Across Oceans" Oilfield Review, Summer 2008, páginas 50-63, [en línea] [recuperado el 10.02.2011]. Recuperado de internet: URL: <a href="http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors08/sum08/04_moving_naturalgas.aspx">http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors08/sum08/04_moving_naturalgas.aspx</a>	1-19
A	WO 2007021351 A1 (EXXONMOBIL UPSTREAM RES CO et al.) 22.02.2007, todo el documento.	1-19
A	WO 9859205 A2 (EXXON PRODUCTION RESEARCH CO) 30.12.1998, todo el documento.	1-19
A	US 4894076 A (AIR PROD & CHEM) 16.01.1990, todo el documento.	1-19

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
16.02.2011

Examinador  
I. González Balseyro

Página  
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F25J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, TXTUS, XPESP

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 16.02.2011

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-19	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-19	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	EP 1939564 A1 (REPSOL YPF S A)	02.07.2008
D02	MCINTOSH, A. et al. "Moving Natural Gas Across Oceans" Oilfield Review, Summer 2008, páginas 50-63, [en línea] [recuperado el 10.02.2011]. Recuperado de internet: URL: <a href="http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors08/sum08/04_moving_naturalgas.ashx">http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors08/sum08/04_moving_naturalgas.ashx</a>	2008

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

El objeto de la invención es un proceso de licuefacción de gas natural donde el gas natural es enfriado inicialmente con un fluido diferente del aire antes de ser licuado mediante enfriamiento con aire; así como la instalación para llevarlo a cabo.

El documento D01 se considera el estado de la técnica más cercano a la invención tal y como se recoge en la reivindicación 1 de la solicitud. Este documento divulga un procedimiento de licuefacción de gas natural donde se utiliza aire como refrigerante. Dicho aire puede ser pretratado para eliminar sus impurezas, posteriormente se comprime y enfría en un primer intercambiador, para ser expandido y utilizado como refrigerante en el enfriamiento y licuefacción final del gas natural. El aire puede estar tanto en circuito cerrado como en abierto. El gas natural puede ser pretratado para eliminar sus impurezas y después del primer enfriamiento, se separan los pesados que hayan condensado. El gas natural licuado obtenido después de un segundo enfriamiento es expandido y enviado a un recipiente flash donde se separa el líquido de los gases generados. Dichos gases pueden ser utilizados para el enfriamiento de las corrientes de gas natural y aire. (Ver párrafos [0004]-[0032], figuras 1-2).

La diferencia entre el documento D01 y el objeto técnico de la reivindicación 1 de la solicitud radica en la incorporación de un ciclo previo al proceso de licuefacción del gas natural, donde el gas natural es preenfriado con un fluido distinto de aire mediante etapas de compresión y expansión de dicho fluido.

Esta característica se encuentra ya recogida en el documento D02 que divulga un proceso de licuefacción de gas natural donde dicho gas es preenfriado con un ciclo de refrigeración con propano, donde dicho refrigerante es comprimido y expandido para tal fin. (Ver página 55).

Por lo tanto resulta obvio para el experto en la materia la utilización de las enseñanzas del documento D02 en el proceso divulgado en el documento D01, obteniéndose así el objeto de la invención.

En consecuencia las reivindicaciones 1 a 19 carecen de actividad inventiva a la vista de lo divulgado en los documentos D01 y D02 (Art. 8.1 LP).