



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 164**

51 Int. Cl.:  
**F17C 9/04** (2006.01)  
**F25J 3/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08166447 .6**  
96 Fecha de presentación : **13.10.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2050999**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.04.2009**

54 Título: **Sistema para comprimir en frío una corriente de aire usando refrigeración con gas natural.**

30 Prioridad: **19.10.2007 US 875052**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**06.05.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**06.05.2011**

73 Titular/es: **AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, Inc.**  
**7201 Hamilton Boulevard**  
**Allentown, Pennsylvania 18195-1501, US**

72 Inventor/es: **Dee, Douglas Paul;**  
**Herron, Donn Michael y**  
**Choe, Jung Soo**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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

Sistema para comprimir en frío una corriente de aire usando refrigeración con gas natural

Es conocido en la técnica, que la energía requerida para comprimir un gas se puede reducir comprimiendo el gas en etapas con el fin de permitir el enfriamiento del gas entre las etapas. Finalmente se alcanza un equilibrio donde el ahorro de energía se compensa con el coste del capital necesario para dividir la etapa de compresión en cada vez más etapas, pero dependiendo del efecto de compresión en cuestión y de los costes relativos de energía frente al capital, con frecuencia el número óptimo de etapas será de varias. Esto es particularmente verdad en el caso de comprimir una corriente de aire que se introduce en una unidad de separación de aire ("ASU") criogénico típicamente dimensionada, en la que la corriente de aire se separa en una o más corrientes producto que incluyen típicamente al menos un producto de nitrógeno y un producto de oxígeno, con frecuencia un producto de argón, y con frecuencia productos de criptón y de xenón.

También es conocido en la técnica que los ahorros de energía son proporcionales a la temperatura de enfriamiento inter-etapas. En particular, el enfriamiento a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente entre las etapas, con un refrigerante como por ejemplo gas natural licuado ("LNG"), producirá unos mayores ahorros de energía que enfriar a temperatura ambiente usando agua corriente de refrigeración como refrigerante. Una vez más, finalmente se alcanza un equilibrio donde los ahorros de energía se compensan con el coste del capital necesario para la refrigeración adicional requerida para enfriar el gas inter-etapas a una temperatura cada vez más fría. Generalmente, este equilibrio no justifica el uso de algo más frío que agua de refrigeración a temperatura ambiente. Una notable excepción está, sin embargo, en el contexto de una ASU situada cerca de un terminal de LNG. En ese caso, el coste del LNG es lo suficientemente bajo como para no sólo justificar el uso del LNG, sino para justificar también tanto LNG como se requiera para enfriar la corriente de aire inter-etapas a una temperatura justo por encima del punto de congelación de los contaminantes contenidos en la corriente de aire, concretamente agua y dióxido de carbono.

Según se usa aquí (y como generalmente se refiere en la industria), "compresión en frío" significará la compresión de un gas que está a una temperatura *por debajo de la temperatura ambiente* a la entrada de una etapa del compresor. (Contrástese este término con "compresión en caliente" que es el término de la industria para la compresión de un gas que está aproximadamente a temperatura *ambiente*, o *por encima de la temperatura ambiente*, a la entrada de una etapa del compresor). También según se usa aquí, "refrigeración con gas natural" significará o bien (i) refrigeración en forma de LNG o (ii) refrigeración en forma de un gas natural frío (es decir, a temperatura por debajo de la temperatura ambiente, especialmente bien por debajo de la temperatura ambiente), especialmente el gas natural frío que resulta del LNG vaporizado, pero solamente parcialmente calentado. Por ejemplo, el gas natural frío está a una temperatura de -20°C a -120°C, preferiblemente -40°C a -100°C.

La presente invención se refiere a un sistema que usa refrigeración por gas natural para comprimir en frío una corriente de aire; especialmente una corriente de aire que se introduce posteriormente en una ASU. La técnica muestra un sistema semejante. Véase, por ejemplo, la Figura 1 de la Solicitud de Patente Japonesa 53-124188, de Ishizu (de aquí en adelante "Ishizu") y la Patente de EE.UU. 3.886.758 de Perrotin y colaboradores, (de aquí en adelante "Perrotin").

Ishizu se refiere a un procedimiento de separación de aire criogénico de la técnica anterior (véase la Figura 1) en el que el LNG se usa para proporcionar un enfriamiento inter-etapas durante la compresión de un aire de alimentación húmedo de una ASU que incorpora un sistema de columna de destilación, y muestra que el problema de la congelación de la humedad y del dióxido de carbono durante el enfriamiento inter-etapas se puede obviar, en ese procedimiento, usando el LNG para retirar el calor generado por la compresión del aire seco de alimentación que se ha enfriado a aproximadamente -150°C, en vez de para el enfriamiento inter-etapas (véase la Figura 2). El LNG enfría el aire comprimido, otra vez, a aproximadamente -150°C y el aire comprimido enfriado resultante se enfrió posteriormente a aproximadamente -170°C, antes de su introducción en el sistema de columna de destilación.

Perrotin describe un procedimiento de separación de aire criogénico en el que se usa LNG para proporcionar el efecto de condensación en una corriente producto de nitrógeno comprimido procedente de un sistema de columna de destilación para proporcionar una corriente de reflujo al sistema de columna de destilación. Opcionalmente, el LNG se usa también para proporcionar un enfriamiento inter-etapas del aire secado durante la compresión del aire de alimentación.

Una cuestión común en Ishizu y Perrotin es la exposición a una situación donde un defecto en el cambiador de calor, usado para facilitar el intercambio de calor entre el LNG y la corriente de aire inter-etapas, da como resultado la fuga de gas natural a la corriente de aire. En particular, semejante fuga permitirá que el gas natural entre en la columna de destilación junto con la corriente de aire, donde el gas natural tenderá a juntarse con el oxígeno producido en la columna de destilación y crear así mezclas potencialmente explosivas de oxígeno y gas natural. Es un objeto de la presente invención dirigir esta cuestión.

La técnica muestra el uso de LNG para enfriar la corriente de aire después de su última etapa de compresión (de aquí en adelante, la "corriente de aire finalmente comprimida"). Véase, por ejemplo, la Patente de EE.UU. 4.192.662 de Ogata y colaboradores (de aquí en adelante "Ogata" y la Solicitud de Patente de EE.UU. 2005/0126220 de Ward (de aquí en adelante "Ward").

Ogata describe un procedimiento de separación de aire criogénico en el que se usa LNG para enfriar una corriente producto de nitrógeno circulante, por lo que la corriente se puede comprimir a baja temperatura y expandirse para vaporizar oxígeno en una columna de refrigeración. En el procedimiento puesto como ejemplo, el LNG se usa también para proporcionar el efecto de refrigeración a un ciclo cerrado de compuestos clorofluorocarbonados que, a su vez, proporciona el efecto de refrigeración a la corriente de aire finalmente comprimida.

Ward describe un método para ajustar el valor del calentamiento bruto del LNG añadiendo un gas condensable mediante el cual, al menos una porción de ese gas, se condensa mediante el LNG para proporcionar un condensado mezclado que, posteriormente, se vaporiza mediante un intercambio de calor con un medio que transfiere calor. El medio que transfiere calor se puede usar, por ejemplo, como un refrigerante para acondicionar una alimentación de aire u otra corriente del procedimiento asociado con la separación de aire criogénico, o para enfriar el gas de condensación. En el procedimiento puesto como ejemplo, se usa agua y/o etilenglicol como medio que transfiere calor, y se usan porciones suyas para enfriar tanto la corriente de aire finalmente comprimida como la corriente producto de nitrógeno comprimido.

Una notable característica tanto en Ogata como en Ward es el uso de un medio de enfriamiento intermedio (ICM) para transferir la refrigeración desde el LNG hasta la corriente de aire finalmente comprimida. En particular, el ICM se enfría mediante un intercambio indirecto de calor con el LNG en un primer cambiador de calor, y el ICM enfriado resultante se usa para enfriar la corriente de aire finalmente comprimida mediante un intercambio indirecto de calor en un segundo cambiador de calor. De esta forma, Ogata y Ward se protegen de una situación en la que una fuga en el cambiador de calor usado para enfriar la corriente de aire finalmente comprimida, dé como resultado que el gas natural entre en la columna de destilación. Es necesario indicar claramente que Ogata y Ward no enseñan a usar el ICM enfriado para enfriar de forma provechosa la corriente de aire entre sus etapas de compresión en frío.

La técnica muestra también el uso de gas natural frío para el enfriamiento inter-etapas durante la compresión en frío de gas nitrógeno. Por ejemplo, la Patente de EE.UU. 5.141.543 de Agrawal y colaboradores (de aquí en adelante "Agrawal") se refiere a un procedimiento de la técnica anterior para la licuefacción de corrientes producto de nitrógeno procedentes de una separación de aire criogénico, en el que las corrientes producto de nitrógeno se comprimen en frío usando un ciclo cerrado de compuestos clorofluorocarbonados para proporcionar un enfriamiento inter-etapas, y el LNG proporciona el efecto de refrigeración al ciclo de compuestos clorofluorocarbonados. Además, el LNG proporciona la refrigeración para el enfriamiento del nitrógeno finalmente comprimido. Es necesario indicar claramente que Agrawal no enseña a usar el ICM de compuestos clorofluorocarbonados de la técnica anterior para proporcionar de forma provechosa un enfriamiento inter-etapas para la compresión en frío de la corriente de aire introducida en la ASU.

El documento GB-B-1120712 describe un procedimiento de separación de aire, en el que el aire de la alimentación se comprime en una soplante para superar, al menos en parte, la caída de presión en un cambiador de calor de entrada y en el sistema de purificación, y entonces se enfría inicialmente con agua. El aire enfriado se enfría luego a  $-157^{\circ}\text{C}$  con una corriente producto de nitrógeno residual y con una corriente de nitrógeno de recirculación antes de la compresión, de forma que alcanza la columna de destilación a 145 kPa. El nitrógeno de recirculación se enfría con metano líquido presurizado a 6,9 MPa.

El documento US-B-3339370 describe un procedimiento de separación de aire en el que el aire de la alimentación se comprime en una soplante, y entonces se enfría inicialmente con agua. El aire enfriado se enfría luego más con vapor de nitrógeno y luego, después de pasar a través de un lecho de sílice para quitar la humedad, con nitrógeno líquido que se evapora. El nitrógeno circula en un ciclo de compresión de vapor en el que se licúa con LNG.

El documento JP-A-3164677 describe un procedimiento de separación de aire en el que el aire de alimentación se comprime en un compresor multi-etapas, en el que el enfriamiento inter-etapas se proporciona mediante una corriente de agua que recircula. La corriente de agua se enfría mediante un intercambio de calor con LNG que se ha precalentado en una caja fría mediante un intercambio de calor con el producto de nitrógeno líquido procedente del aire de separación. Según la invención del documento JP-A-3164677, la corriente de agua se enfría rociándola en un depósito a través del cual pasa LNG en una tubería de transmisión térmica sumergida en agua en el depósito.

El LNG entra en el depósito, por ejemplo, a una temperatura dentro del intervalo de  $-60^{\circ}\text{C}$  a  $-70^{\circ}\text{C}$ , y se calienta al menos a  $0^{\circ}\text{C}$ . Es un rasgo característico del procedimiento que se forme hielo sobre la superficie periférica exterior de la tubería que transporta el LNG. La salida completa del LNG desde la parte de la caja fría es a través del depósito de agua.

Un procedimiento de la técnica anterior, reconocido en el documento JP-A-3164677, emplea un intercambio convencional de calor para enfriar la corriente de agua en vez del depósito de agua. El LNG procedente de la caja fría entra en el cambiador de calor a, por ejemplo,  $-50^{\circ}\text{C}$  y se calienta hasta al menos  $0^{\circ}\text{C}$ . Se requiere una torre de enfriamiento para enfriar más el agua que abandona el cambiador de calor. Como en el caso del procedimiento de la invención del documento JP-A-3164677, la salida completa de la caja fría pasa al cambiador de calor.

La presente invención es un procedimiento para la compresión de una corriente de aire en múltiples etapas, que usa una refrigeración derivada de gas natural licuado para enfriar la corriente de aire a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente entre, al menos dos, etapas consecutivas. Con el fin de reducir la posibilidad de fugas del gas natural a la corriente de aire, se usa un medio de enfriamiento intermedio ("ICM") para transferir la refrigeración desde el gas natural a la corriente de aire inter-etapas. La corriente de aire comprimido se introduce en una unidad de separación de aire criogénico ("ASU") que incluye una unidad de licuefacción que se integra sinérgicamente en el procedimiento usando una corriente de gas natural frío extraída de la unidad de licuefacción como corriente de gas natural usada para enfriar el ICM.

Según un aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para comprimir una corriente de aire de alimentación en una unidad de separación de aire que incluye una unidad de licuefacción basada en LNG, que comprende:

enfriar una corriente de un medio de enfriamiento intermedio ("ICM") mediante un intercambio indirecto de calor con una corriente refrigerante que comprende gas natural;  
comprimir la corriente de aire usando múltiples etapas de compresión; y  
enfriar la corriente de aire a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente, entre al menos dos de las múltiples etapas de compresión, mediante un intercambio indirecto de calor con la corriente del ICM, caracterizada porque la unidad de licuefacción basada en LNG se integra sinérgicamente en el procedimiento extrayendo una porción (166) de la corriente de alimentación de gas natural procedente de la unidad de licuefacción a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $-120^{\circ}\text{C}$ , para usarla como la corriente refrigerante usada para enfriar el ICM, permitiendo así un aumento de la alimentación de gas natural de la unidad (2) de licuefacción.

En una realización preferida, el procedimiento de la invención comprende:

enfriar la corriente del medio de enfriamiento intermedio ("ICM") mediante un intercambio indirecto de calor con una corriente refrigerante que comprende gas natural;  
comprimir la corriente de aire en múltiples etapas de compresión;  
enfriar la corriente de aire a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente, entre al menos dos de las múltiples etapas de compresión, mediante intercambio indirecto de calor con la corriente del ICM;  
separar la corriente de aire enfriada y comprimida, usando una unidad de separación de aire ("ASU"), en al menos una corriente producto de nitrógeno y una corriente producto de oxígeno;  
enfriar la, al menos una, corriente producto de nitrógeno en una unidad de licuefacción mediante intercambio de calor con la corriente refrigerante y, opcionalmente, retornar al menos una porción del producto de nitrógeno desde la unidad de licuefacción a la ASU; y  
sacar desde una sección intermedia de la unidad de licuefacción una porción de la corriente refrigerante a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $-120^{\circ}\text{C}$ , y usar dicha porción para la etapa de enfriamiento de la corriente del ICM.

En un segundo aspecto, la invención proporciona un aparato para el procedimiento de la invención que comprende:

un compresor que comprime una corriente de aire en múltiples etapas, comprendiendo las múltiples etapas una etapa inicial, al menos una etapa intermedia y una etapa final;  
una pluralidad de cambiadores de calor que enfrían la corriente de aire con una corriente de un medio de enfriamiento intermedio ("ICM"), al menos uno de la pluralidad de cambiadores de calor que enfría la corriente de aire entre la etapa inicial y la, al menos una, etapa intermedia, y al menos uno de la pluralidad de cambiadores de calor que enfrían la corriente de aire entre la, al menos una, etapa intermedia y la etapa final;  
una unidad de separación de aire ("ASU") que separa la corriente de aire en al menos una corriente producto de nitrógeno y al menos una corriente producto de oxígeno; y  
una unidad de licuefacción que licúa la, al menos una, corriente producto de nitrógeno mediante intercambio de calor con una corriente de gas natural;  
en el que el cambiador de calor enfría la corriente del ICM mediante intercambio de calor con una porción de la corriente de gas natural extraída de una sección intermedia de la unidad de licuefacción, y la corriente del ICM enfriada proporciona las corrientes del medio de enfriamiento para dicha pluralidad de cambiadores de calor.

Cuando las múltiples etapas de compresión comprenden una etapa inicial, una o más etapas intermedias, y una etapa final, se prefiere que la corriente de aire se enfríe a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente mediante un intercambio indirecto de calor con la corriente del ICM entre cada una de las una o más etapas intermedias.

5 La corriente de aire se puede enfriar también a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente antes de la primera etapa de compresión y/o después de la etapa final de compresión mediante un intercambio indirecto de calor con la corriente del ICM.

10 Cuando la corriente de aire contiene agua y dióxido de carbono antes de las etapas de enfriamiento o de compresión, la temperatura por debajo de la temperatura ambiente deberá ser lo suficientemente baja como para permitir que condense al menos una porción del agua.

15 Normalmente, la corriente del ICM es incombustible en presencia de oxígeno. Preferiblemente es un líquido con una temperatura del punto de congelación por debajo del punto de congelación del agua, especialmente una mezcla de etilenglicol y agua. Como alternativa, se puede usar una corriente refrigerante que no sea explosiva cuando se combina con agua, como por ejemplo hidrocarburos fluorados seleccionados, o sus mezclas.

20 Preferiblemente, el ICM estará en estado líquido tras enfriarlo con la corriente refrigerante, de forma que se pueda hacer circular el fluido con una bomba. Sin embargo, el ICM se puede vaporizar tras proporcionar refrigeración a la compresión de aire, en cuyo caso el ICM se condensará normalmente con la corriente refrigerante. El uso de un medio de enfriamiento que sea gaseoso después del enfriamiento con la corriente refrigerante es perjudicial, ya que será necesario suministrar energía al compresor para que circule el fluido.

25 La alimentación de aire comprimido se separa usando una unidad de separación de aire ("ASU"), en especial una ASU criogénica, para proporcionar al menos una corriente producto de nitrógeno y una corriente producto de oxígeno. Normalmente, al menos una porción del dióxido de carbono y al menos una porción de cualquier agua restante será retirada de la corriente de aire después de la compresión y antes de la separación, y/o la corriente de aire comprimido se enfriará a una temperatura criogénica mediante un intercambio indirecto de calor con al menos una corriente producto de nitrógeno después de la compresión y antes de la separación. Se puede licuar una corriente producto de nitrógeno mediante intercambio de calor con la corriente refrigerante en la unidad de licuefacción.

30 Lo que sigue es una descripción únicamente a modo de ejemplo, y con referencia al dibujo que acompaña, de una realización de la invención en este momento preferida. En el dibujo la única figura es un diagrama esquemático que describe una realización de la presente invención.

35 La presente invención se entiende mejor con referencia a la realización no limitadora descrita en la figura.

Haciendo referencia ahora a la figura, se comprime una corriente **100** de aire en la etapa inicial **3a** de un compresor **3** de aire que comprende múltiples etapas consecutivas consistentes en la etapa inicial **3a**, una etapa intermedia **3b** y una etapa final **3c**. Las corrientes **102** y **104** de aire inter-etapas se enfrían, cada una de ellas, a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente con una refrigeración derivada de una corriente **166** de gas natural. Según la presente invención, se usa un medio de enfriamiento intermedio ("ICM") para facilitar el intercambio de calor entre la corriente **166** de gas natural y las corrientes **102** y **104** de aire inter-etapas.

45 El fin del ICM es evitar el uso de un único cambiador de calor para facilitar el intercambio de calor entre la corriente **166** de gas natural y una o más de las corrientes **102** y **104** de aire inter-etapas. En particular, esto elimina la exposición a una situación en la que un defecto en el único intercambiador de calor dé como resultado la fuga de gas natural a la corriente de aire inter-etapas y, finalmente, al sistema de la columna de destilación donde tenderá a juntarse con el oxígeno allí producido y crear mezclas potencialmente explosivas de oxígeno y gas natural. En particular, en el caso de un sistema típico de doble columna que comprende una columna de alta presión y una de baja presión, el gas natural tenderá a desplazarse hacia debajo de la columna de baja presión y a acumularse en el oxígeno líquido que se recoge en el fondo de la columna de baja presión. Por consiguiente, el ICM usado en la presente invención puede ser cualquier refrigerante que cree una mezcla inofensiva (es decir, no explosiva) cuando se combine con oxígeno. Un ejemplo de semejante refrigerante es una mezcla de etilenglicol y agua.

55 El ICM circula en un ciclo **4** de bucle cerrado. En particular, la corriente **186** del ICM intercambia calor indirectamente con una corriente **166** de LNG en un cambiador de calor **188** para producir una corriente **168** de gas natural vaporizada y calentada y una corriente **170** del ICM enfriada. Para compensar las pérdidas normales de presión en el ciclo **4** de bucle cerrado, la corriente **170** del ICM enfriada es bombeada en una bomba **171** para producir una corriente **172** del ICM que se divide en corrientes **175**, **176**, **374** y **377** del ICM. La corriente **100** de aire se enfría a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente mediante intercambio indirecto de calor con la corriente **377** del ICM en un cambiador de calor **4a**, y la corriente **301** de aire enfriado resultante es comprimida en la primera etapa **3a** del compresor **3**. La corriente **102** de aire inter-etapas se enfría a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente mediante un intercambio indirecto de calor con la corriente **176** del ICM en un cambiador de calor **4b**, y la corriente **103** de aire enfriado resultante se comprime en la etapa intermedia **3b** del compresor **3** de aire. De forma similar,

la corriente **104** de aire inter-etapas se enfría a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente mediante un intercambio indirecto de calor con la corriente **175** del ICM en un cambiador de calor **4c**, y la corriente **105** de aire enfriado resultante se comprime en la etapa final **3c** de un compresor **3** de aire. La corriente **106** de aire finalmente comprimida se enfría a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente mediante intercambio indirecto de calor con la corriente **374** del ICM en el cambiador de calor **4d** para proporcionar la corriente **107** de aire. Las corrientes **181**, **182**, **380** y **383** se combinan en la corriente **186** del ICM para completar el bucle cerrado. El profesional experto apreciará que el bombeo de la corriente del ICM en la bomba **171** puede tener lugar, como alternativa, antes de que la corriente del ICM se enfríe en el cambiador de calor **4b**.

Como resultado de los intercambios de calor en los cambiadores de calor **4a**, **4b**, **4c**, y **4d**, una porción del agua contenida en la corriente **100** de aire, sale condensada como corrientes **195**, **196**, y **197** respectivamente, en el caso de los cambiadores **4b**, **4c**, y **4d**. La corriente **107** se introduce en una unidad **108** de adsorción, con el fin de retirar su contenido de dióxido de carbono y de agua restante. La corriente **110** de aire resultante se introduce luego en la ASU **1** que comprende un cambiador de calor **112** principal y un sistema de columna de destilación **120**.

La corriente **110** de aire se enfría a una temperatura criogénica en el cambiador de calor **112** principal, y la corriente **114** de aire resultante se introduce en el sistema de columna de destilación **120** que comprende una columna **116** de alta presión que tiene una parte superior y un fondo, una columna **118** de baja presión que tiene una parte superior y un fondo, un condensador-calderín **117** que conecta térmicamente las columnas de alta y de baja presión, en las que la corriente de aire se separa en una primera corriente producto **130** de nitrógeno (retirada de la parte superior de la columna **116** de alta presión), una segunda corriente producto **140** de nitrógeno (retirada de la parte superior de la columna **118** de baja presión), y una corriente producto **125** de oxígeno (retirada del fondo de la columna **118** de baja presión). Las corrientes producto **130** y **140** de nitrógeno se usan para enfriar la corriente **110** de aire a una temperatura criogénica mediante intercambio indirecto de calor en el cambiador de calor **112** principal. Las corrientes producto de nitrógeno calentado resultantes se extraen de la ASU **1** como las corrientes **132** y **142**.

Las corrientes producto **132** y **142** de nitrógeno se introducen en una unidad **2** de licuefacción que comprende un extremo frío (el fondo de la unidad **2** de licuefacción basado en la orientación de la unidad **2** de licuefacción de la Figura 2), un extremo caliente opuesto al extremo frío, una sección fría adyacente al extremo frío, una sección caliente adyacente al extremo caliente, y usa sección intermedia situada entre la sección fría y la sección caliente. La corriente **260** de LNG se introduce en el extremo frío de la unidad **2** de licuefacción mientras que las corrientes producto de nitrógeno se introducen en el extremo caliente de la unidad **2** de licuefacción. Las corrientes producto **132** y **142** se comprimen en frío y se licúan en la unidad **2** de licuefacción antes de ser extraídas del extremo frío de la unidad **2** de licuefacción como las corrientes **250** y **252**. La corriente **260** de LNG se vaporiza y se calienta parcialmente en la sección fría de la unidad **2** de licuefacción mediante el intercambio indirecto de calor con las corrientes producto **132** y **142** de nitrógeno.

Del extremo frío de la unidad **2** de licuefacción se retira una porción inicial **250** de las corrientes producto de nitrógeno licuado, y se recupera como corriente producto de nitrógeno líquido mientras que, con el fin de facilitar la recuperación de al menos una porción de la corriente producto **152** de oxígeno como corriente producto de oxígeno líquido, la porción restante **252** se retira del extremo frío y se devuelve al sistema de la columna de destilación. En particular, se reduce la presión de una parte inicial de la porción restante a través de una válvula **254** y se devuelve a la columna **116** de alta presión, mientras que se reduce la presión la parte restante de la porción restante a través de la válvula **256** y se devuelve a la columna **118** de baja presión. Como alternativa, si el único producto líquido deseado es nitrógeno líquido, la corriente **252** se fusionará en la corriente **250**, mientras que si el único producto líquido deseado es oxígeno líquido, la corriente **250** se fusionará en la corriente **252**. Habrá que indicar que la invención no está restringida por la manera en que se utiliza la corriente **252** en la ASU. Por ejemplo, la corriente **252** se puede vaporizar para proporcionar refrigeración a una corriente del procedimiento dentro de la ASU.

Una porción inicial de la corriente **260** de LNG se vaporiza y se calienta parcialmente en el extremo frío de la unidad **2** de licuefacción, y se calienta más en la sección caliente de la unidad **2** de licuefacción mediante un intercambio indirecto de calor adicional con las corrientes producto **132** y **142** de nitrógeno, antes de ser extraída del extremo caliente de la unidad de licuefacción como corriente **264**. La porción restante de la corriente **260** de LNG, vaporizada y parcialmente calentada en el extremo frío de la unidad **2** de licuefacción, es extraída de la sección intermedia de la unidad **2** de licuefacción como corriente de gas natural frío y se usa como corriente **166** refrigerante para enfriar el ICM en el cambiador de calor **188**. La temperatura de la corriente **166** es, normalmente, de -20°C a -120°C, y muy preferiblemente de -40°C a -100°C. La corriente **168** de gas natural calentado procedente del cambiador de calor **188** se combina con la corriente **264** de gas natural calentado procedente de la unidad **2** de licuefacción para formar la corriente **270**.

La característica excepcional de esta realización es el uso anteriormente indicado de la corriente de gas natural frío extraída de la unidad **2** de licuefacción como la corriente **166** refrigerante para enfriar el ICM en el cambiador de calor **188**. Esta característica proporciona la siguiente sinergia:



la extracción de la corriente de gas natural frío procedente de la unidad **2** de licuefacción justifica la introducción de una cantidad adicional de LNG en la unidad **2** de licuefacción. En particular, una cantidad de LNG que tiene un efecto de refrigeración equivalente al efecto de refrigeración del gas natural frío extraído. Esto permite un grado más alto de compresión en frío en la unidad **2** de licuefacción (es decir, ya que la temperatura de la refrigeración del LNG es más baja, entonces sustituye a la temperatura de la refrigeración del gas natural frío), que, a su vez, da como resultado el ahorro de energía en la unidad **2** de licuefacción.

En efecto, la capacidad del esquema de compresión en frío de la presente invención para servir como un "sumidero de calor" productivo para la extracción de gas natural frío de la unidad **2** de licuefacción, hace posible el ahorro de energía en la unidad de licuefacción. El ejemplo aquí incluido ilustra los ahorros de energía que se pueden conseguir mediante la presente invención.

El uso del ciclo **4** de bucle cerrado del ICM para enfriar también las corrientes **100** y **106** de aire, como se discutió anteriormente, proporciona ventajas adicionales. En primer lugar, al menos en lo que se refiere a enfriar la corriente **100** a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente, antes de la etapa inicial **3a** de compresión, esto consigue los mismos beneficios que la compresión en frío de las corrientes **103** y **104** de aire inter-etapas. En segundo lugar, proporciona un sumidero adicional de calor para la corriente **166** de gas natural extraída de la unidad **2** de licuefacción que, a su vez, aumenta más el ahorro de energía en la unidad **2** de licuefacción. Finalmente, elimina la necesidad de agua en el procedimiento y el coste de capital de la torre de agua de refrigeración asociada (es decir, para volver a enfriar el agua de refrigeración calentada a temperatura ambiente mediante un intercambio de calor con el aire del ambiente).

Aunque no se muestra en la Figura, el profesional experto apreciará que uno o más de los cambiadores de calor **4a**, **4b**, **4c**, y **4d** se pueden fusionar en un único cambiador de calor, opcionalmente junto con el cambiador de calor **188**. De forma similar, el profesional experto apreciará que el bucle **4** cerrado del ICM y/o la corriente **166** de gas natural frío extraída de la unidad **2** de licuefacción se pueden usar también para enfriar otras corrientes en el procedimiento (como por ejemplo el nitrógeno introducido en el extremo caliente de la unidad **2** de licuefacción), opcionalmente en el mismo único cambiador de calor contemplado para los cambiadores de calor **4a**, **4b**, **4c**, **4d** y **188**. Finalmente, el profesional experto apreciará que para dirigir situaciones de puesta en marcha o cierre de la unidad de licuefacción, se deberá diseñar el cambiador de calor **188** de la Figura para que vaporice y caliente parcialmente una fracción de la corriente **260** de LNG introducida en la unidad **2** de licuefacción.

El ejemplo que sigue ilustra el ahorro de energía que se puede conseguir mediante la presente invención.

### Ejemplo

Uno de los procedimientos presentados en este Ejemplo usa la refrigeración a "baja temperatura" de LNG como la fuente de refrigeración para enfriar el ICM. En este procedimiento, la corriente **166** consiste en una porción del suministro reciente de LNG.

Se presenta también otro procedimiento, uno que usa, según la invención, una refrigeración a "temperatura relativamente alta" del gas natural frío como la fuente de refrigeración para enfriar el ICM. En este segundo procedimiento, en vez de consistir la corriente **166** en una porción del suministro de LNG reciente, la corriente **166** consiste en una corriente de gas natural frío extraído de la unidad **2** de licuefacción. En efecto, la unidad **2** de licuefacción se acopla, en este procedimiento, al esquema de compresión en frío para la corriente **100** de aire. Ambos procedimientos ("el enfriamiento del ICM a baja temperatura" y "el enfriamiento del ICM a alta temperatura") se pueden comparar con procedimiento "base" que no implique en absoluto la compresión en frío de la corriente **100** de aire,

Se simularon estos procedimientos diferentes sobre la base de producir 1000 toneladas métricas, por día, de oxígeno líquido y nitrógeno líquido combinados en iguales proporciones. Para estas simulaciones, la temperatura del suministro de LNG usado para el "enfriamiento del ICM a baja temperatura" se supone que es de  $-153^{\circ}\text{C}$  y la temperatura de la corriente de gas natural frío usada para el "enfriamiento del ICM a alta temperatura" se supone que es de  $-73^{\circ}\text{C}$ . Las simulaciones mostraron que, a costa de aumentar el LNG total requerido, de 1480 toneladas métricas por día a 2280 toneladas métricas por día, el uso de la refrigeración a "baja temperatura" del LNG como la fuente de refrigeración para enfriar el ICM, reducía la energía requerida para la compresión del aire de 7,32 MW a 6,96 MW. Las simulaciones mostraron además que, a costa de aumentar el LNG total requerido de 1480 toneladas métricas por día a 2140 toneladas métricas por día, el uso de la refrigeración a "temperatura relativamente alta" de gas natural frío como la fuente de refrigeración para enfriar el ICM no sólo reducía la energía requerida para la compresión del aire de 7,32 MW a 6,96 MW, sino que también reducía la energía requerida para la compresión del nitrógeno en la unidad **2** de licuefacción de 4,82 MW a 3,54 MW.

Se deberá indicar que, aunque la unidad de licuefacción desacoplada en el procedimiento de "enfriamiento del ICM a baja temperatura" sacrifica el ahorro de energía que se puede conseguir integrando la unidad de licuefacción como en el procedimiento de "enfriamiento del ICM a alta temperatura" de la invención, una unidad de licuefacción desacoplada puede ofrecer ventajas en términos de permitir el uso continuado de la ASU **1** cuando la unidad **2** de licue-

facción no está operativa. Esta situación podría presentarse siempre que la ASU **1** se ponga en marcha antes que la unidad **2** de licuefacción, o siempre que sea deseable cesar la producción neta de nitrógeno líquido a partir de la unidad **2** de licuefacción, mientras que continúa la producción de oxígeno gaseoso o líquido, o cualquier otro producto procedente de la ASU **1**.



## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para comprimir una corriente (100) de alimentación de aire a una unidad (1) de separación de aire, que incluye una unidad (2) de licuefacción basada en LNG, que comprende:

comprimir (3) la corriente de aire usando múltiples etapas (3a, 3b, 3c) de compresión;  
enfriar la corriente de aire a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente entre al menos dos de las múltiples etapas (3a, 3b; 3b, 3c) de compresión mediante intercambio indirecto de calor (4b; 4c) con una corriente (172, 176; 172, 175) de un medio de enfriamiento intermedio ("ICM"); y  
enfriar la corriente del ICM mediante intercambio indirecto de calor (188) con una corriente (166) refrigerante que comprende gas natural,  
caracterizado porque la unidad de licuefacción basada en LNG está integrada sinérgicamente en el procedimiento mediante la extracción de una porción (166) de la corriente de alimentación de gas natural desde la unidad de licuefacción, a una temperatura de -20°C a -120°C, para usarla como la corriente de refrigeración usada para enfriar el ICM, permitiendo así un aumento en la alimentación de gas natural a la unidad (2) de licuefacción.

2. Un procedimiento de la reivindicación 1, en el que las múltiples etapas de compresión comprenden una etapa inicial (3a), dos o más etapas intermedias (3b) y una etapa final (3c), y en el que el enfriamiento de la corriente de aire comprende enfriar la corriente de aire a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente mediante el intercambio indirecto de calor con la corriente (172) del ICM entre cada una de las etapas intermedias.

3. Un procedimiento de la reivindicación 2, en el que la corriente (100) de aire se enfría a temperatura por debajo de la temperatura ambiente antes de la etapa inicial (3a) mediante intercambio indirecto de calor (4) con la corriente (172, 377) del ICM.

4. Un procedimiento de la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que la corriente (106) de aire se enfría a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente después de la etapa final (3c) de compresión mediante intercambio indirecto de calor (4d) con la corriente (172, 374) del ICM.

5. Un procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la corriente del ICM comprende un refrigerante que es incombustible en presencia de oxígeno.

6. Un procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la corriente del ICM es un líquido que no se vaporiza después de proporcionar refrigeración a la compresión del aire.

7. Un procedimiento de la reivindicación 6, en el que la corriente del ICM comprende una mezcla de etilenglicol y agua.

8. Un procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la unidad (2) de licuefacción licúa al menos una corriente producto (130, 140) de nitrógeno de la separación de aire.

9. Un procedimiento de la reivindicación 8 que comprende:

enfriar una corriente (186) de un medio de enfriamiento intermedio ("ICM") mediante intercambio indirecto de calor (188) con una corriente (166) refrigerante que comprende gas natural;  
comprimir (3) la corriente (100) de aire en múltiples etapas (3a, 3b, 3c) de compresión;  
enfriar la corriente (102; 104) de aire a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente entre al menos dos de las múltiples etapas (3a, 3b; 3b, 3c) de compresión mediante intercambio indirecto de calor (4b; 4c) con la corriente (172, 176; 172, 175) del ICM;  
separar la corriente (110) de aire comprimida y enfriada, en la ASU (1), en al menos una corriente producto (130, 140) de nitrógeno, y una corriente producto (125) de oxígeno, después de las etapas de enfriamiento y de compresión;  
enfriar la, al menos una, corriente producto de nitrógeno en una unidad (2) de licuefacción mediante intercambio de calor con la corriente (260) refrigerante; y  
sacar desde una sección intermedia de la unidad (2) de licuefacción una porción (166) de la corriente refrigerante a una temperatura de -20°C a -120°C y usar dicha porción (166) para la etapa de enfriamiento (188) de la corriente del ICM.

10. Un aparato para el procedimiento de la reivindicación 9 que comprende:

un compresor (3) que comprime una corriente en múltiples etapas, comprendiendo las múltiples etapas, una etapa inicial (3a), al menos una etapa intermedia (3b) y una etapa final (3c);  
un primer cambiador de calor (4b) que enfría la corriente (102) de aire entre la etapa inicial (3a) y la, al menos una, etapa intermedia (3b) con una corriente (172, 176) de un medio de enfriamiento;

un segundo cambiador de calor (4c) que enfría la corriente (104) de aire entre la, al menos una, etapa intermedia (3b) y la etapa final (3c) con la corriente (172, 175) del medio de enfriamiento; una unidad de separación de aire ("ASU") (1) que separa la corriente (110) de aire en al menos una corriente producto (130, 140) de nitrógeno y al menos una corriente producto (125) de oxígeno; y una unidad (2) de licuefacción que licúa la, al menos una, corriente producto de nitrógeno mediante intercambio de calor con una corriente (260) de gas natural; caracterizado porque el aparato incluye un tercer cambiador de calor (188) que enfría una corriente (186) de un medio de enfriamiento intermedio ("ICM") mediante intercambio de calor con una porción (166) de la corriente de gas natural extraída de una sección intermedia de una unidad (2) de licuefacción y la corriente (172) de ICM enfriada proporciona las corrientes del medio de enfriamiento de dichos primero y segundo cambiadores de calor.

11. Un aparato de la reivindicación 10, en el que hay más de una etapa intermedia (3b), y el aparato comprende respectivos cambiadores de calor que enfrían la corriente de aire entre cada una de las etapas intermedias con una corriente (172) de un medio de enfriamiento intermedio ("ICM").

12. Un aparato de la reivindicación 10 o la reivindicación 11, que comprende además un cambiador de calor (4a) que enfría la corriente (100) de aire antes de la etapa final (3a) con la corriente (172, 377) del medio de enfriamiento intermedio ("ICM").

13. Un aparato de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, que comprende además un cambiador de calor (4b) que enfría la corriente (106) de aire después de la etapa final (3c) con la corriente (172, 374) del medio de enfriamiento intermedio ("ICM").

