

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 555**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.11.2010 PCT/US2010/056501**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.06.2011 WO11071658**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2010 E 10781771 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016 EP 2510295**

54 Título: **Método y aparato de producción de oxígeno para mejorar la capacidad del proceso**

30 Prioridad:

10.12.2009 US 634810

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

15.03.2017

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 Old Ridgebury Road
Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**HOWARD, HENRY EDWARD y
JIBB, RICHARD JOHN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 605 555 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y aparato de producción de oxígeno para mejorar la capacidad del proceso

5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un método para producir un producto oxígeno y a un aparato para realizar tal método. Más particularmente, la presente invención se refiere a un método y aparato de este tipo, en el que múltiples unidades de separación de aire, cada una de las cuales tiene columnas de una presión superior y una inferior, están conectadas a una columna auxiliar que produce corrientes que contienen oxígeno, que son pobres en nitrógeno y que se introducen en las columnas de presión inferior para permitir que las unidades de separación de aire operen a una mayor capacidad.

15 Antecedentes de la Invención

Se requieren grandes cantidades de oxígeno para los fines de gasificación del carbón, producción de combustibles líquidos sintéticos y en procesos de combustión que implican el uso de oxígeno. En algunos de los procedimientos anteriores, se pueden consumir más de entre 10.000 y 15.000 toneladas métricas por día de oxígeno.

La rectificación criogénica del aire es el método preferido para la producción de oxígeno a gran escala. En la rectificación criogénica, el aire se comprime y se purifica de contaminantes de punto de ebullición superior, tal como dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos en una unidad de purificación previa. El aire comprimido y purificado, que en ciertas plantas también se puede comprimir más, se enfría a una temperatura adecuada para su rectificación y luego se rectifica en columnas de destilación para separar los componentes del aire. Las columnas de destilación que se emplean en los procesos de rectificación criogénica incluyen una columna de presión superior y una columna de presión inferior. En la columna de presión superior, el aire se rectifica para producir una cabeza de columna de vapor rica en nitrógeno y un fondo de columna de oxígeno líquido crudo, también conocido en la técnica como líquido de caldera. Una corriente de fondo de columna de oxígeno líquido crudo se refina aún más en la columna de presión inferior para producir el producto oxígeno.

Los diámetros de la columna de destilación aumentan en proporción a la raíz cuadrada de la capacidad de la planta o, en otras palabras, el flujo a través de las columnas. Las limitaciones de transporte dan lugar a un diámetro máximo del recipiente en el intervalo de 6,0 a 6,5 m. Como consecuencia de ello, el diseño, la construcción y la instalación de una planta de separación de aire que tenga una capacidad de producción de oxígeno en exceso de alrededor de 5.000 toneladas métricas por día no se ha encontrado que sean prácticas. Para superar esta limitación, típicamente se construyen múltiples trenes de plantas de separación de aire paralelos para operar en paralelo dentro de un enclave. Por desgracia, la simple replicación de planta pierde muchas "economías de escala" porque la construcción de envueltas de columnas adicionales conlleva un gasto considerable. Por lo tanto, incluso cuando se emplean múltiples unidades de separación de aire que tienen columnas de presión superior e inferior dentro de un enclave de tales unidades, es deseable que cada unidad se construya con la mayor capacidad posible para limitar el número de unidades empleadas dentro de una instalación particular de plantas de separación de aire.

Una limitación crítica asociada con una columna de destilación implica el punto de inundación hidráulica de cualquier sección de columna dada. Los diámetros de columna se definen típicamente mediante un enfoque de inundación que puede estar en cualquier lugar del 70 al 90 por ciento. Dada la presión equivalente, el nitrógeno tiene una densidad de masa inferior a la del oxígeno. Como el componente más ligero (más volátil) del aire, el nitrógeno fluye a la parte superior de las secciones de rectificación asociadas (nitrógeno/oxígeno). Cuando el vapor de la columna asciende, se enriquece progresivamente en nitrógeno. Por el contrario, el líquido descendente se vuelve más rico en oxígeno. Como consecuencia de estos aspectos termodinámicos, las secciones superiores de las principales columnas de destilación de aire de baja presión, conocidas como las secciones de rectificación de nitrógeno, presentan las más altas cargas volumétricas. Dada una selección fijada de diámetro máximo y empaquetado, dichas secciones limitarán la capacidad de cada planta.

Como se describirá, la presente invención proporciona un método y un aparato mediante los cuales las unidades de separación de aire se pueden integrar de una manera que aumentará la capacidad de la planta y la producción de oxígeno dentro de enclaves de la planta que tienen múltiples plantas. En el documento DE 197 25 821 A1 se divulga un método de producción de producto oxígeno como se define en el preámbulo de la reivindicación 1, y un aparato para producir un producto oxígeno como se define en el preámbulo de la reivindicación 8.

60 Sumario de la Invención

En un aspecto, la presente invención proporciona un método para producir un producto oxígeno. De acuerdo con este aspecto de la presente invención, el aire se separa mediante un proceso de rectificación criogénica que emplea una pluralidad de unidades de separación de aire que tienen columnas de presión superior y columnas de presión inferior asociadas operativamente con las columnas de presión superior que producen corrientes ricas en oxígeno que se utilizan en la producción del producto oxígeno. El proceso de rectificación criogénica genera al menos una corriente líquida compuesta de aire o de una sustancia similar al aire que tiene un contenido de argón no menor que el aire y al menos una corriente de oxígeno impuro que contiene oxígeno y nitrógeno, y que tiene un contenido de

oxígeno no inferior al del aire.

La al menos una corriente de oxígeno impuro es introducida en una región inferior de una columna auxiliar que opera a sustancialmente la misma presión que la columna de presión inferior.

5 La al menos una corriente de oxígeno impuro se rectifica en la columna auxiliar para formar un líquido que contiene oxígeno como un fondo de columna y una cabeza de columna de vapor rica en nitrógeno de la columna auxiliar. Se retiran de la columna auxiliar corrientes que contienen oxígeno, que tienen un contenido de nitrógeno inferior que el de la al menos una corriente de oxígeno impuro y se introducen en las columnas de presión inferior para su
10 rectificación dentro de las columnas de presión inferior. Corrientes de reflujo intermedias formadas por la al menos una corriente de líquido se introducen en las columnas de presión inferior por encima de posiciones en las que se introducen las corrientes que contienen oxígeno y en la columna auxiliar por encima de su región inferior.

15 La presente invención permite un aumento en la producción de oxígeno dentro de una instalación de múltiples plantas en la que se utiliza una única columna auxiliar para desviar el nitrógeno desde las columnas de presión inferior dentro de la instalación por la producción de un líquido rico en oxígeno que se introduce en las columnas de presión inferior. El desvío del nitrógeno de la columna de presión inferior reduce a su vez las cargas de vapor dentro de las secciones de rectificación de nitrógeno de tales columnas para aumentar la capacidad de la planta. Se ha calculado que el uso de esta columna auxiliar podría aumentar la capacidad de la planta entre 25 y 30 por ciento de
20 cada una de las plantas situadas en la instalación. Como se puede apreciar, en una instalación de múltiples plantas, este aumento en la capacidad podría ahorrar el uso de una planta en la instalación y, por lo tanto, reduciría los costes implicados en la construcción de la instalación.

25 Debe indicarse que el término "sustancialmente", como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones, significa la misma presión o una presión que es ligeramente superior a la presión de la columna de presión inferior en no más de 5 psig (34473,78 N/m²) para impulsar corrientes que contienen oxígeno producidas en la columna auxiliar hacia las columnas de presión inferior. Además, la al menos una corriente de oxígeno impuro puede ser corrientes de oxígeno impuro retiradas de todas las unidades de separación de aire e introducidas en la columna de presión inferior.

30 Una planta de oxígeno de líquido bombeado es un tipo particularmente ventajoso de planta que se puede utilizar en relación con la presente invención. Como tales, las corrientes ricas en oxígeno pueden estar compuestas de un fondo de columna de líquido rico en oxígeno producido en las columnas de presión inferior. Al menos parte de cada una de las corrientes de líquido rico en oxígeno se bombea para formar al menos una corriente de oxígeno líquido
35 bombeado. Parte del aire que se separa se comprime para formar al menos una corriente de aire comprimido y la al menos una corriente de aire comprimido intercambia indirectamente calor con al menos parte de la al menos una corriente de oxígeno líquido bombeado. Esto forma la al menos una corriente de líquido de la corriente de aire comprimido y el producto oxígeno de la al menos parte de la al menos una corriente de oxígeno líquido bombeado. Las corrientes de oxígeno impuro pueden ser retiradas de las columnas de presión superior y pueden estar
40 compuestas de un fondo de columna de oxígeno líquido crudo producido dentro de las columnas de presión superior de las unidades de separación de aire.

45 La cabeza de columna rica en nitrógeno de presión superior que se produce en las columnas de presión más alta se condensa en un líquido rico en nitrógeno contra la vaporización de parte del fondo de columna de líquido rico en oxígeno. Las corrientes de líquido de reflujo compuestas del líquido rico en nitrógeno se introducen como reflujo en las columnas de presión superior y las columnas de presión inferior y la columna auxiliar. El líquido rico en nitrógeno, que se utiliza en la formación de las corrientes de líquido de reflujo que se alimentan como el reflujo de las columnas de presión inferior y la columna auxiliar, se subenfria a través del intercambio de calor indirecto con la al menos una corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior compuesta de una cabeza de columna de nitrógeno de presión inferior producida en las columnas de presión inferior de las unidades de separación de aire. La cabeza de columna auxiliar rica en nitrógeno y la al menos una corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior están completamente calentadas en al menos un intercambiador de calor principal utilizado en el enfriamiento del aire a una temperatura adecuada para su rectificación dentro de las unidades de separación de aire.

55 Las corrientes de reflujo intermedias también se pueden introducir en la columna de presión superior de cada una de las unidades de separación de aire. Otra parte del aire se puede comprimir más, enfriarse parcialmente y expandirse, para formar así al menos una corriente de escape. Las corrientes de aire de alimentación primaria compuestas de la al menos una corriente de escape se introducen en las columnas de presión superior.

60 En otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato para producir un producto oxígeno. De acuerdo con este aspecto de la presente invención, se proporciona una instalación de rectificación criogénica que está configurada para separar el aire y producir así el producto oxígeno. La instalación de rectificación criogénica incluye al menos un intercambiador de calor principal y unidades de separación de aire que tienen columnas de presión superior y columnas de presión inferior asociadas operativamente con las columnas de presión superior para
65 producir corrientes ricas en oxígeno. Las columnas de presión inferior están en comunicación de flujo con el al

menos un intercambiador de calor principal, de modo que las corrientes ricas en oxígeno se calientan en el al menos un intercambiador de calor principal y se utilizan en la producción del producto oxígeno.

Una columna auxiliar opera a sustancialmente la misma presión que las columnas de presión inferior y está conectada al menos a una de las unidades de separación de aire para recibir al menos una corriente de oxígeno impuro en una región inferior de la misma. La al menos una corriente de oxígeno impuro contiene oxígeno y nitrógeno y tiene un contenido de oxígeno que no es menor que el del aire. La columna auxiliar está configurada para rectificar la al menos una corriente de oxígeno impuro y formar así un líquido que contiene oxígeno como un fondo de columna y una cabeza de la columna de vapor rico en nitrógeno de la columna auxiliar. Las columnas de presión inferior de las unidades de separación de aire están conectadas a la columna auxiliar, de manera que las corrientes que contienen oxígeno se retiran de la columna auxiliar, que tiene un contenido de nitrógeno inferior que el de la al menos una corriente de oxígeno impuro y se introducen en las columnas de presión inferior para su rectificación dentro de las columnas de presión inferior. La instalación de rectificación criogénica también está configurada para generar al menos una corriente líquida compuesta de aire o de una sustancia similar al aire que tiene un contenido de argón no menor que el aire y para el reflujo de las columnas de presión inferior y la columna auxiliar con corrientes de reflujo intermedias compuestas de la al menos una corriente de líquido por encima de posiciones en las que se introducen las corrientes que contienen oxígeno y por encima de la región inferior de la columna auxiliar.

Al menos una bomba puede conectarse a las columnas de presión inferior, de modo que las corrientes ricas en oxígeno se componen de un fondo de columna de líquido rico en oxígeno producido en las columnas de presión inferior. Al menos parte de las corrientes ricas en oxígeno se bombea para formar al menos una corriente de líquido presurizado. El al menos un intercambiador de calor principal está conectado a la al menos una bomba, de modo que la al menos parte de la al menos una corriente de líquido presurizado se introduce en el al menos un intercambiador de calor principal y se calienta para formar el producto oxígeno. La instalación de rectificación criogénica está configurada para generar la al menos una corriente de líquido, en parte, a través del intercambio indirecto de calor realizado en el al menos un intercambiador de calor principal, entre al menos una corriente de aire comprimido compuesta por parte del aire y la al menos parte de la al menos una corriente de líquido presurizado.

La al menos una corriente de oxígeno impuro puede comprender corrientes de oxígeno impuro retiradas de todas las unidades de separación de aire. La columna auxiliar está conectada a las unidades de separación de aire para recibir las corrientes de oxígeno impuro en una región inferior de la misma. La columna auxiliar puede estar conectada a las columnas de presión superior, de modo que las corrientes de oxígeno impuro se retiran de las columnas de presión superior y se componen de un fondo de columna de oxígeno líquido crudo producido dentro de las columnas de presión superior. Un intercambiador de calor puede estar conectado a las columnas de presión superior y a las columnas de presión inferior, de modo que una cabeza de columna rica en nitrógeno de presión superior, producida en las columnas de presión superior, se condensa en un líquido rico en nitrógeno contra la vaporización de parte del fondo de columna del líquido rico en oxígeno. Las columnas de presión superior, las columnas de presión inferior y la columna auxiliar están conectadas al intercambiador de calor, de modo que las corrientes de líquido de reflujo compuestas del líquido rico en nitrógeno se introducen como reflujo en las columnas de presión superior y las columnas de presión inferior y la columna auxiliar. Al menos una unidad de subenfriamiento está colocada entre las columnas de presión inferior y el al menos un intercambiador de calor principal, de modo que el líquido rico en nitrógeno, que se utiliza en la formación de las corrientes de líquido de reflujo que se alimentan como el reflujo de la columna de presión inferior y la columna auxiliar, se subenfía a través del intercambio de calor indirecto con las corrientes de vapor de nitrógeno de presión inferior compuestas de una cabeza de columna de nitrógeno de presión inferior producida en las columnas de presión inferior. La cabeza de columna auxiliar rica en nitrógeno y la al menos una corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior son completamente calentadas en al menos un intercambiador de calor principal utilizado en el enfriamiento del aire a una temperatura adecuada para su rectificación dentro de las unidades de separación de aire.

La columna de presión superior de cada una de las unidades de separación de aire puede estar conectada al por lo menos un intercambiador de calor principal, de modo que las corrientes de reflujo intermedias también se introducen en la columna de presión superior de cada una de las unidades de separación de aire.

Se proporciona al menos un compresor principal para comprimir el aire y al menos una unidad de purificación previa conectada al por lo menos un compresor principal para purificar el aire. Al menos un primer compresor de refuerzo está colocado entre la al menos una unidad de purificación previa y el al menos un intercambiador de calor principal, de modo que la parte del aire se comprime dentro del primer compresor de refuerzo para formar la al menos una corriente de aire comprimido. Al menos un segundo compresor de refuerzo está colocado entre la al menos una unidad de purificación previa y el al menos un intercambiador de calor principal. El al menos un turbo-expansor está conectado al por lo menos un intercambiador de calor principal, de manera que otra parte del aire se comprime aún más dentro del al menos un segundo compresor de refuerzo, se enfría parcialmente en el al menos un intercambiador de calor principal y se expande dentro del al menos un turbo-expansor, para formar así al menos una corriente de escape. Las columnas de presión superior están conectadas al por lo menos un turbo-expansor para que las corrientes de aire de alimentación primaria compuestas por la al menos una corriente de escape se

introduzcan en las columnas de presión superior.

En una aplicación particularmente rentable de la presente invención, los compresores, las bombas y los intercambiadores de calor, etc. pueden ser utilizados comúnmente para todas las unidades de separación de aire. A este respecto, el al menos un compresor principal, la al menos una unidad de purificación previa, el al menos un primer compresor de refuerzo, el al menos un segundo compresor de refuerzo, el al menos un intercambiador de calor principal, el al menos un turbo-expansor y la al menos una bomba pueden ser un compresor principal, una unidad de purificación previa, un primer compresor de refuerzo, un segundo compresor de refuerzo, un intercambiador de calor principal, un turbo-expansor y una bomba, respectivamente. Además, la al menos una corriente de aire comprimido es una corriente de aire comprimido producida por el primer compresor de refuerzo.

De manera similar, la al menos una corriente de líquido presurizado es una corriente de líquido presurizado producida por la bomba. La al menos una corriente de escape es una corriente de escape producida por el al menos un turbo-expansor y las corrientes de aire de alimentación primarias se componen de la una corriente de escape. La columna auxiliar puede estar conectada a las columnas de presión superior, de modo que las corrientes de oxígeno impuro se retiran de las columnas de presión superior y se componen de un fondo de columna de oxígeno líquido crudo producido dentro de las columnas de presión superior.

Un intercambiador de calor puede estar conectado a las columnas de presión superior y a las columnas de presión inferior, de modo que una cabeza de columna rica en nitrógeno de presión superior, producida en las columnas de presión superior, se condensa en un líquido rico en nitrógeno contra la vaporización de parte del fondo de columna del líquido rico en oxígeno. Las columnas de presión superior, las columnas de presión inferior y las columnas auxiliares están conectadas al intercambiador de calor, de modo que las corrientes de líquido de reflujo compuestas del líquido rico en nitrógeno se introducen como reflujo en las columnas de presión superior y las columnas de presión inferior. Una unidad de subenfriamiento está colocada entre las columnas de presión inferior y el intercambiador de calor principal, de modo de que el líquido rico en nitrógeno, que se utiliza en la formación de las corrientes de líquido de reflujo que se alimentan como el reflujo a las columnas de presión inferior y la columna auxiliar, se subenfriará a través del intercambio de calor indirecto con una corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior, compuesta de una cabeza de columna de nitrógeno de presión inferior, producida en la columna de presión inferior. La cabeza de columna auxiliar rica en nitrógeno y la corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior son completamente calentadas en el intercambiador de calor principal.

Breve descripción de los dibujos

Aunque la memoria concluye con reivindicaciones que claramente señalan la materia objeto que los solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se comprenderá cuando se tome en relación con la única figura adjunta, que ilustra un aparato para realizar un método de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada

Con referencia a la figura, se ilustra una instalación de rectificación criogénica 1 que está diseñada para separar aire y para producir así un producto oxígeno. La instalación de rectificación criogénica 1 está provista de un intercambiador de calor principal 2 para enfriar el aire a una temperatura adecuada para su rectificación dentro de las unidades de separación de aire 3 y 4 y, de ese modo, producir un producto oxígeno que se descarga desde el intercambiador de calor principal 2 como una corriente de producto oxígeno 96, que se describirá en más detalle más adelante.

El aire que se ha de separar se introduce en el aparato 1 como una corriente de aire 10 que se comprime en un compresor principal 12 para producir una corriente de aire comprimido principal 14 que tiene una presión en un intervalo de entre aproximadamente 5 (0,5 Pa) y aproximadamente 15 bares(a) (1,5 Pa). El compresor principal 12 puede ser un compresor de engranajes integral de múltiples etapas, refrigerado internamente, con retirada de condensado. La corriente de aire comprimido principal 14 se purifica posteriormente en una unidad de purificación previa 16 para retirar del aire las impurezas de mayor punto de ebullición, tales como vapor de agua, dióxido de carbono e hidrocarburos y producir así una corriente de aire comprimido y purificado 18. Como es bien conocido en la técnica, esta unidad 16 puede incorporar lechos adsorbentes que operan en un ciclo de fase que es una combinación de adsorción con oscilación de temperatura y presión.

Una parte 20 de la corriente de aire comprimido y purificado 18 se comprime posteriormente en un compresor de refuerzo 22, de nuevo preferiblemente una unidad de múltiples etapas, para formar una primera corriente de aire comprimido 24 que puede tener una presión en un intervalo de entre aproximadamente 25 y aproximadamente 70 bares. La primera corriente de aire comprimido 24 puede constituir entre aproximadamente 25 por ciento y aproximadamente 35 por ciento del aire entrante. Como se verá, la primera corriente de aire comprimido 24 se licua dentro de un intercambiador de calor principal 2 contra la vaporización de una segunda parte 94 de una corriente de oxígeno líquido bombeado 88 para producir la corriente de producto oxígeno 96 y una corriente de aire líquido 26 en un estado subenfriado. Otra parte 28 de la corriente de aire comprimido y purificado 18 se comprime en un compresor de refuerzo 30 cargado con una turbina a una presión que puede estar en un intervalo de entre aproximadamente 15 bares(a) (1,5 Pa) y 20 bares(a) (2,0 Pa) y después se comprime en un compresor 32 para

5 producir una segunda corriente de aire comprimido 34 que puede tener una presión de entre aproximadamente 20 bares(a) (2,0 Pa) y 60 bares(a) (6,0 Pa). La segunda corriente de aire comprimido 34 se enfría parcialmente en el intercambiador de calor principal 2 a una temperatura que está en un intervalo de entre aproximadamente 160 K (-113,15°C) y aproximadamente 220 K (-53,15°C) y luego se expande dentro de un turbo-expansor 36 para producir una corriente de escape 38 para suministrar refrigeración a la instalación de separación de aire 1.

10 Debe indicarse que, aunque el intercambiador de calor principal 2 se ilustra como una única unidad, en la práctica, el intercambiador de calor principal 2 podría ser una serie de unidades paralelas que incorporasen una construcción de aletas de chapa de aluminio conocida. Además, la porción de alta presión del intercambiador de calor principal 2 podría estar "peraltada", es decir, fabricada de manera que la porción utilizada en el intercambio de calor entre la primera corriente comprimida 24 y la segunda parte 94 de la corriente de oxígeno líquido bombeado 88 estuvieran en un intercambiador de calor de alta presión separado. Por lo tanto, el término "intercambiador de calor principal", como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones, se puede tomar en el sentido de una sola unidad o varias unidades como se ha descrito anteriormente. Además, aunque el compresor de refuerzo 30 se ilustra como conectado mecánicamente al turbo-expansor 36 y el compresor 32 se proporciona para comprimir aún más el aire comprimido y purificado, también se podrían utilizar compresores de refuerzo individuales accionados por separado en lugar de las unidades ilustradas.

20 La corriente de escape 38 se divide en corrientes de aire de alimentación primarias 40 y 42 que se alimentan a las columnas de presión superior 44 y 46 de las unidades de separación de aire 3 y 4, respectivamente, para su rectificación en las mismas. Se hace observar que la presente invención tiene igual aplicabilidad a otros tipos de plantas de separación de aire, por ejemplo, aquellas en las que se alimenta el escape de la turbina a las columnas de presión inferior. Cada una de las columnas de presión superior 44 y 46 está provista de elementos de contacto de transferencia de masa 48 y 50, tales como empaquetado de la estructura, empaquetado volcado o bandejas de tamiz o una combinación de tales elementos, también conocidos en la técnica. La introducción de corrientes de aire de alimentación primarias 40 y 42 inicia la formación de una fase de vapor ascendente que se vuelve cada vez más rica en nitrógeno a medida que asciende por columnas de presión superior 44 y 46, respectivamente. El vapor ascendente está en contacto en contracorriente con una fase líquida descendente que se vuelve cada vez más rica en oxígeno a medida que desciende por las columnas 44 y 46. Como resultado, se forma un fondo 52 de columna de oxígeno líquido crudo en cada una de las columnas de presión superior 44 y 46, dentro de sus regiones inferiores, y un vapor rico en nitrógeno de presión superior en la parte superior de las columnas de presión superior 44 y 46.

35 Las columnas de presión inferior 54 y 56 de las unidades de separación de aire 3 y 4, respectivamente, que operan a una presión más baja que las columnas de presión superior 44 y 46, están provistas cada una de intercambiadores de calor en forma de rehervidores de condensador 58 en la base de cada una de las columnas de presión inferior 54 y 56. Las corrientes 60 y 62, compuestas por la cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno de presión superior, de las columnas de presión superior 44 y 46, respectivamente, se condensan dentro de los rehervidores de condensador 58 para producir corrientes líquidas ricas en nitrógeno 64 y 66 y para vaporizar parcialmente un fondo 68 de columna de líquido rico en oxígeno producido en cada una de las columnas de presión inferior 54 y 56. Esta vaporización inicia la formación de una fase de vapor ascendente dentro de las columnas de presión inferior 54 y 56. La fase líquida descendente dentro de las columnas de presión inferior 54 y 56 se inicia mediante la introducción de corrientes de reflujo 70 y 72 que se componen de corrientes de líquido ricas en nitrógeno 64 y 66. Elementos de contacto de transferencia de masa 74, 76 y 78 están situados dentro de cada una de las columnas de presión inferior 54 y 56 para contactar el líquido descendente con el vapor ascendente y, por lo tanto, para producir el líquido rico en oxígeno 68 y una cabeza de la columna de vapor rica en nitrógeno de presión inferior en las regiones superiores de las columnas de presión inferior 54 y 56.

50 Las corrientes ricas en oxígeno 80 y 82, que se componen del fondo 68 de columna de líquido rico en oxígeno 68, se eliminan de las columnas de presión inferior 54 y 56 y se combinan para formar una corriente combinada 84 que se bombea mediante una bomba 86 para producir una corriente de oxígeno líquido bombeado 88 que puede tener una presión de entre aproximadamente 10 bares(a) (1,0 Pa) y aproximadamente 50 bares(a) (5,0 Pa). Una primera parte de la corriente de oxígeno líquido bombeado 88 opcionalmente se puede tomar directamente como corriente de producto líquido 92 y una segunda parte 94 de la corriente de oxígeno líquido bombeado 88 se puede, como se describió anteriormente, calentar en el intercambiador de calor principal para producir el producto oxígeno como una corriente producto 96.

60 Dentro de cada una de las columnas de presión inferior 54 y 56 cuando la fase líquida desciende, se vuelve cada vez más rica en oxígeno, separándose el nitrógeno mediante la fase de vapor ascendente. La sección de la columna donde se produce predominantemente dicha acción está dentro del elemento de contacto de transferencia de masa 74. Las secciones de las columnas de presión inferior ocupadas por elementos de contacto de transferencia de masa 76 y 78 son secciones de rectificación de nitrógeno que sirven para enriquecer el vapor ascendente en contenido de nitrógeno. En muchos casos, son las secciones más superiores las que sirven para limitar la capacidad de la planta. De acuerdo con la presente invención, para superar esta limitación, una mezcla de nitrógeno-oxígeno que ha sido enriquecida en oxígeno se introduce en cada columna de presión inferior 54 y 56 que se genera en una

columna auxiliar 100 en lugar de oxígeno líquido crudo o líquido de caldera generado en la región inferior de cada una de las columnas de presión superior 44 y 46.

En la instalación de rectificación criogénica 1, las corrientes de oxígeno impuro, que en la realización ilustrada constituyen corrientes de oxígeno líquido crudo 102 y 104, se eliminan de las columnas de presión superior 44 y 46, respectivamente. Estas corrientes se componen del oxígeno líquido crudo 52. Las corrientes de oxígeno líquido crudo 102 y 104 son entonces expandidas con válvulas a una presión sustancialmente a la presión operativa de las columnas de presión inferior 54 y 56 mediante válvulas de expansión 106 y 108, y después se introducen en una región inferior 101 de la columna auxiliar 100 para rectificación para producir un fondo 110 de columna de líquido que contiene oxígeno y una cabeza de columna de vapor rica en nitrógeno de la columna auxiliar en la parte superior de la columna auxiliar 100. La columna auxiliar 100 se somete a reflujo mediante una corriente de reflujo 112 que está formada por corrientes de líquido ricas en nitrógeno 64 y 66 descritas anteriormente. En este sentido, las corrientes de líquido rico en nitrógeno 64 y 66 se dividen en corrientes subsidiarias 114, 116 y 118, 120, respectivamente. Las corrientes subsidiarias 114 y 118 someten a reflujo las columnas de presión superior 44 y 46, respectivamente. Las corrientes subsidiarias 118 y 120 se combinan para formar una corriente combinada 122 que es subenfriada en una unidad de subenfriamiento 124 y luego se divide en corrientes de reflujo 70, 72 y 112. Las corrientes de reflujo 70, 72 y 112 se expanden mediante válvulas a una presión operativa de las columnas de presión inferior 54 y 56 y la columna auxiliar 100 mediante las válvulas de expansión 126, 128 y 130, respectivamente.

La columna auxiliar 100 está provista de elementos de contacto de transferencia de masa 132 y 134 en contacto con fases de vapor ascendente y líquido descendente, y de este modo producir el fondo 110 de columna de líquido que contiene oxígeno y la cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno de la columna auxiliar. El vapor de evaporación producido por la introducción de corrientes de oxígeno líquido crudo 102 y 104 en la columna auxiliar 100, así como la introducción de la corriente de reflujo intermedia 158 (que se describirá) forman la fase ascendente que se ha de rectificar. La fase líquida descendente es producida por la corriente de reflujo 112 y la corriente de reflujo intermedia 158. Como resultado de la destilación, el fondo 110 de la columna de líquido que contiene oxígeno es más pobre en nitrógeno que el fondo de la columna de oxígeno líquido crudo 52 producido en las columnas de presión superior 44 y 46. Las corrientes que contienen oxígeno 136 y 138, que se componen del fondo 110 de columna de líquido que contiene oxígeno, se eliminan de la columna auxiliar 100 y después se introducen en la base de las secciones de rectificación de nitrógeno de las columnas de presión inferior 54 y 56 para reducir el contenido de nitrógeno dentro de tales secciones de las columnas y para permitir una mayor tasa de producción sin la inundación de tales columnas. En este sentido, tales corrientes que contienen oxígeno 136 y 138 podrían tener un contenido de vapor tras su introducción en las columnas de presión inferior 54 y 56.

Las corrientes cabeza de la columna de vapor rico en nitrógeno 140, 142 y 144 se retiran de las columnas de presión inferior 54 y 56 y la columna auxiliar, respectivamente, y se combinan para formar una corriente de vapor rica en nitrógeno combinada 146. La corriente de vapor rica en nitrógeno combinada 146 se calienta entonces parcialmente dentro de la unidad de subenfriamiento 148 para subenfriar la corriente de líquido de nitrógeno combinada 122 y luego se calienta totalmente dentro de intercambiador de calor principal 2 para formar una corriente de producto nitrógeno 150.

La introducción de las corrientes que contienen oxígeno 136 y 138 descargan eficazmente la sección de rectificación de nitrógeno de las columnas de presión inferior 54 y 56. Las secciones de rectificación superiores de las columnas de baja presión todavía requieren un suficiente reflujo para mantener elevada la recuperación de oxígeno. Para alcanzar esta condición, la corriente de aire líquida se expande hasta una presión operativa de las columnas de presión superior 44 y 46 por medio de una válvula de expansión 152 y luego se divide y subdivide en corrientes de reflujo intermedias 154, 156 y 158 y, opcionalmente, las corrientes de reflujo intermedias 160 y 162. Las corrientes de reflujo intermedias 154, 156 y 158 se expanden con válvula para disminuir la presión de dichas corrientes mediante las válvulas de expansión 164, 168 y 170 y después se introducen como reflujo intermedio en las columnas de presión inferior 54 y 56 por encima de posiciones en las que se introducen las corrientes que contienen oxígeno 136 y 138 y la columna auxiliar 100, encima de su región inferior en la que se introducen las corrientes de oxígeno impuro. Las corrientes de reflujo intermedias 160 y 162 opcionales se introducen en las columnas de presión superior 44 y 46.

Aunque la columna auxiliar 100 se ilustra en relación con dos unidades de separación de aire 3 y 4, en la práctica, una columna auxiliar tal como la columna auxiliar 100 debe ser capaz de desatascar 3 ó 4 unidades principales de separación de aire, aunque es posible el uso de más unidades de separación de aire. Así, el término "pluralidad", como se usa aquí y en las reivindicaciones, significa más de dos unidades de separación de aire. Además, aunque las unidades de separación de aire 3 y 4 son idénticas, se podrían utilizar unidades de separación de aire de diferente diseño y capacidad. Por ejemplo, una unidad de separación de aire, como se ilustra, podría ser una doble columna convencional y la segunda unidad puede incorporar recuperación de argón. Las unidades de separación de aire también pueden ser de diferentes tipos. En este sentido, el aspecto de clasificación de una unidad de separación de aire es la utilización de una sección de rectificación de nitrógeno de baja presión y los procesos de producción de oxígeno más conocidos tendrán esta sección. Como un ejemplo, la presente invención es aplicable a

plantas de oxígeno de baja pureza que emplean la condensación de aire dentro de la base de la columna de presión inferior, ya sea condensación de aire total o parcial. Un punto adicional es que la columna auxiliar 100 no necesita operar para producir vapor de nitrógeno en la parte superior de la columna a la misma pureza de cualquier columna de presión inferior de las unidades de separación de aire asociadas.

5 Aunque no se ilustra, la presente invención contempla que la columna auxiliar 100 opere de una manera que sea independiente de las unidades de separación de aire asociadas. En particular, no todas las unidades de separación de aire necesitan estar en operación en cualquier momento. Si, por ejemplo, la unidad de separación de aire 3 está fuera de servicio, la columna auxiliar todavía podría funcionar en conexión con la unidad de separación de aire 4.

10 Aunque la figura muestra un intercambiador común de calor principal 2 y una unidad de subenfriamiento 124 asociada con la operación de las unidades de separación de aire 3 y 4, junto con el compresor de aire principal 12 asociado, turbo-expansor 36 y etc., es posible diseñar la instalación de destilación criogénica en la que cada unidad de separación de aire tenga componentes dedicados, tales como intercambiadores de calor principales y unidades de subenfriamiento o unidades comunes parcialmente dedicadas y parciales. Por ejemplo, múltiples bombas o una sola bomba 86 podrían utilizarse en la realización de la presente invención que se muestra en la figura. Debe observarse aquí que, aunque la corriente de aire líquido 26 se ilustra como condensada contra una segunda parte 94 de la corriente de oxígeno líquido bombeado 88, es posible emplear la presente invención en relación con nitrógeno líquido bombeado.

20 Una combinación de fuentes de alimentación se puede emplear para un sistema de columna auxiliar de acuerdo con la presente invención. Además de corrientes líquidas de oxígeno impuro retiradas de las columnas de presión superior 44 y 46, por ejemplo, corrientes de oxígeno líquido crudo 102 y 104, se pueden extraer fluidos entre etapas de cualquiera de las columnas de presión superior o inferior asociadas con las unidades de separación de aire 3 y 4. Lo único que se requiere para las corrientes de oxígeno impuro es que contengan un contenido de oxígeno que no sea menor que el del aire. Por ejemplo, las corrientes de oxígeno impuro podrían formarse a partir de parte de la corriente de aire líquida que se produce en la vaporización de una segunda parte 94 de la corriente de oxígeno líquido bombeado 88. Además, podrían formarse corrientes de oxígeno impuro a partir de los gases de escape de la turbina, que de otro modo se dirigirían directamente a la columna de presión inferior. En cualquier caso, mediante la desviación de esta corriente a la columna auxiliar, podría también desviarse nitrógeno para bajar el contenido de nitrógeno en las columnas de presión inferior 54 y 56. Además, tales fluidos entre etapas podrían constituir una sustancia líquida similar al aire retirada de las columnas en el punto de introducción de las corrientes de reflujo intermedias, por ejemplo, 160 y 162. Este líquido, conocido en la técnica como aire sintético, también se podría utilizar para desviar nitrógeno de las columnas de presión inferior 54 y 56. En cuanto a la derivación, lo mismo es cierto para las corrientes de reflujo intermedias que, en la realización ilustrada, se designan con los números de referencia 154, 156, 160 y 162. Estas corrientes pueden estar compuestas de aire u otra sustancia similar al aire, tal como aire sintético que tendría un contenido de argón no menor que el aire, dado que este aire sintético, si se retira en el punto de introducción de las corrientes 160 y 162, de hecho tendría un contenido de argón mayor que el aire.

40 Un punto adicional más es que, aunque las corrientes de oxígeno impuro son un líquido, es posible utilizar un vapor, por ejemplo, en una planta de separación de aire que tenga un expansor de columna superior para alimentar un escape a la columna de presión inferior, en su lugar, esta corriente se podría alimentar a la columna auxiliar. En el caso de que se produzca argón a partir de al menos uno de los sistemas de columna, es posible dirigir una parte del oxígeno impuro vaporizado dentro de la columna auxiliar.

45 Hay que señalar que la fuente de alimentación a la columna auxiliar 100 puede derivarse desde solamente una unidad de separación de aire única, por ejemplo, la unidad de separación de aire 3 o la unidad de separación de aire 4 y luego dividirse entre las unidades de separación de aire asociadas.

50 Aunque la presente invención ha sido descrita con referencia a una realización preferida, como se les ocurrirán a los expertos en la técnica, numerosos cambios, adiciones y omisiones pueden hacerse en dicha realización sin apartarse del alcance de la presente invención, tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de producción de producto oxígeno, que comprende:

5 separar aire mediante un proceso de rectificación criogénica que emplea una pluralidad de unidades de separación de aire (3, 4) que tienen columnas de presión superior (44, 46) y columnas de presión inferior (54, 56) asociadas operativamente con las columnas de presión superior (44, 46) para producir corrientes ricas en oxígeno (80, 82) que se utilizan en la producción del producto oxígeno, generando el proceso de rectificación criogénica al menos una corriente de líquido (154, 156, 160, 162) compuesta de aire o una sustancia similar al
 10 aire que tiene un contenido de argón no menor que el aire y al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) que contiene oxígeno y nitrógeno y que tiene un contenido de oxígeno no inferior al del aire; introducir la al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) en una región inferior de una columna auxiliar (100) y rectificar la al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) dentro de la columna auxiliar (100) para formar un líquido que contiene oxígeno (110) como un fondo de columna y una cabeza (140, 142, 144) de columna de vapor rico en nitrógeno de la columna auxiliar;
 15 retirar corrientes que contienen oxígeno (136, 138) de la columna auxiliar (100) que tienen un contenido de nitrógeno inferior al de la al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) e introducir las corrientes que contienen oxígeno (136, 138) en las columnas de presión inferior (54, 56) para su rectificación dentro de las columnas de presión inferior; e
 20 introducir corrientes de reflujo intermedias (154, 156, 158) compuestas de la al menos una corriente de líquido en las columnas de presión inferior (54, 56) por encima de posiciones en las que se introducen las corrientes que contienen oxígeno (136, 138) y en la columna auxiliar (100);

caracterizado por que

25 (i) la columna auxiliar (100) opera a sustancialmente la misma presión que la columna de presión inferior (54, 56); y
 (ii) la corriente de reflujo intermedia (158) para la columna auxiliar (100) se introduce en la columna auxiliar (100) por encima de su región inferior.

30 2. El método de la reivindicación 1, en el que la al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) se forma a partir de corrientes de oxígeno impuro retiradas de todas las unidades de separación de aire (3, 4) y se introduce en la columna auxiliar (100).

35 3. El método de la reivindicación 2, en el que:

las corrientes ricas en oxígeno (80, 82) se componen de un fondo de columna de líquido rico en oxígeno (68) producido en las columnas de presión inferior (54, 56);
 40 al menos parte de cada una de las corrientes de líquido rico en oxígeno (80, 82) se bombea para formar al menos una corriente de oxígeno líquido bombeado (88); y
 parte (20) del aire que se ha de separar se comprime para formar al menos una corriente de aire comprimido (24); y
 la al menos una corriente de aire comprimido (24) indirectamente intercambia calor con al menos parte de la al menos una corriente de oxígeno líquido bombeado (88), formando así la al menos una corriente de líquido
 45 (26) a partir de la corriente de aire comprimido (24) y el producto oxígeno (96) a partir de la al menos parte de la al menos una corriente de oxígeno de líquido bombeado (88).

50 4. El método de la reivindicación 3, en el que las corrientes de oxígeno impuro (102, 104) se retiran de las columnas de presión superior (44, 46) y están compuestas de un fondo (52) de columna de oxígeno líquido crudo producido dentro de las columnas de presión superior (44, 46) de las unidades de separación de aire (3, 4).

5. El método de la reivindicación 3, en el que:

55 una cabeza (60, 62) de columna rica en nitrógeno de presión superior, que se produce en las columnas de presión superior (44, 46), se condensa en un líquido rico en nitrógeno (64, 66) contra la vaporización de parte del fondo (68) de columna de líquido rico en oxígeno;
 corrientes de líquido de reflujo (70, 72, 112, 114, 118) compuestas del líquido rico en nitrógeno (64, 66) se introducen como reflujo en las columnas de presión superior (44, 46) y las columnas de presión inferior (54, 56) y la columna auxiliar (100); y
 60 el líquido rico en nitrógeno (122) que se utiliza en la formación de las corrientes de líquido de reflujo (70, 72, 112) que se alimentan como el reflujo a las columnas de presión inferior (54, 56) y la columna auxiliar (100), se subenfía a través del intercambio de calor indirecto con al menos una corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior (146) compuesta de una cabeza de columna de nitrógeno de presión inferior (140, 142, 144) producida en las columnas de presión inferior (54, 56) de las unidades de separación de aire (3, 4) y la cabeza de columna auxiliar rica en nitrógeno; y
 65

la al menos una corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior (146) es completamente calentada en al menos un intercambiador de calor principal (2) utilizado en el enfriamiento del aire a una temperatura adecuada para su rectificación dentro de las unidades de separación de aire (3, 4).

5 6. El método de la reivindicación 3, en el que las corrientes de reflujo intermedias (160, 162) también se introducen en la columna de presión superior (44, 46) de cada una de las unidades de separación de aire (3, 4).

7. El método de la reivindicación 3, en el que:

10 otra parte (28) del aire también se comprime, en parte se enfría y se expande, para formar así al menos una corriente de escape (38); y las corrientes de aire de alimentación primaria (40, 42) compuestas de la al menos una corriente de escape (38) se introducen en las columnas de presión superior (44, 46).

15 8. Un aparato para producir un producto oxígeno (96), que comprende:

una instalación de rectificación criogénica (1) configurada para separar aire y de esta manera producir el producto oxígeno (96);

20 incluyendo la instalación de rectificación criogénica (1) al menos un intercambiador de calor principal (2) y unidades de separación de aire (3, 4) que tienen columnas de presión superior (44, 46) y columnas de presión inferior (54, 56) asociadas operativamente con las columnas de presión superior (44, 46) para producir corrientes ricas en oxígeno;

25 estando las columnas de presión inferior (54, 56) en comunicación de flujo con el al menos un intercambiador de calor principal (2), de modo que las corrientes ricas en oxígeno se calientan en el al menos un intercambiador de calor principal (2) y se utilizan en la producción del producto oxígeno (96);

una columna auxiliar (100) conectada al menos a una de las unidades de separación de aire (3, 4) para recibir al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) en una región inferior de la misma, conteniendo la al menos una corriente de oxígeno impuro oxígeno y nitrógeno y teniendo un contenido de oxígeno que no es menor que el del aire;

30 estando la columna auxiliar (100) configurada para rectificar la al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) y formar así un líquido (110) que contiene oxígeno como un fondo de columna y una cabeza (140, 142, 133) de columna de vapor rico en nitrógeno de la columna auxiliar;

35 estando las columnas de presión inferior (54, 56) de las unidades de separación de aire (3, 4) conectadas a la columna auxiliar (100), de manera que las corrientes que contienen oxígeno (136, 138) se retiran de la columna auxiliar (100) que tiene un contenido de nitrógeno inferior que el de la al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) y se introducen en las columnas de presión inferior (54, 56) para su rectificación dentro de las columnas de presión inferior; y

40 la instalación de rectificación criogénica también está configurada para generar al menos una corriente de líquido (154, 156, 160, 162), compuesto de aire o una sustancia similar al aire que tiene un contenido de argón no menor que el aire y para realizar el reflujo de las columnas de presión inferior (54, 56) y la columna auxiliar (100) con corrientes de reflujo intermedias (154, 156, 158) compuestas de la al menos una corriente de líquido por encima de posiciones en las que se introducen las corrientes que contienen oxígeno (136, 138) en las columnas de presión inferior (54, 56);

45 **caracterizado por que**

(i) la columna auxiliar (100) está configurada para operar a sustancialmente la misma presión que las columnas de presión inferior (54, 56); y

50 (ii) la corriente de reflujo intermedia (158) para la columna auxiliar (100) se introduce en la columna auxiliar (100) por encima de su región inferior.

9. El aparato de la reivindicación 8, en el que la al menos una corriente de oxígeno impuro (102, 104) comprende corrientes de oxígeno impuro y la columna auxiliar (100) está conectada a todas las unidades de separación de aire (3, 4) para recibir las corrientes de oxígeno impuro en su región inferior.

55 10. El aparato de la reivindicación 9, en el que:

60 al menos una bomba (86) está conectada a las columnas de presión inferior (54, 56), de manera que las corrientes ricas en oxígeno (84) se componen de un fondo (68) de columna líquido rico en oxígeno, producido en las columnas de presión inferior (54, 56), y al menos parte de cada una de las corrientes ricas en oxígeno se bombean para formar al menos una corriente de líquido presurizado (88);

el al menos un intercambiador de calor principal (2) está conectado a la al menos una bomba (86), de modo que la al menos parte (94) de la al menos una corriente de líquido presurizado (88) se introduce en el al menos un intercambiador de calor principal (2) y se calienta para formar el producto oxígeno (96); y

65 la instalación de rectificación criogénica está configurada para generar al menos una corriente líquida (26), en

parte, a través del intercambio indirecto de calor realizado en el al menos un intercambiador de calor principal (2), entre al menos una corriente de aire comprimido (34) compuesta por parte del aire y la al menos parte (94) de la al menos una corriente de líquido presurizado (88).

5 11. El aparato de la reivindicación 10, en el que la columna auxiliar (100) está conectada a las columnas de presión superior (44, 46), de manera que la pluralidad de las corrientes de oxígeno impuro (102, 104) se retiran de las columnas de presión superior y se componen de un fondo (52) de columna de oxígeno líquido crudo producido dentro de las columnas de presión superior (44, 46).

10 12. El aparato de la reivindicación 10, en el que:

un intercambiador de calor (58) está conectado a las columnas de presión superior (44, 46) y a las columnas de presión inferior (54, 56), de modo que una cabeza (60, 62) de columna rica en nitrógeno de presión superior, producida en las columnas de presión superior (44, 46) se condensa en un líquido rico en nitrógeno (64, 66) contra la vaporización de parte del fondo (68) de columna del líquido rico en oxígeno; estando las columnas de presión superior (44, 46), las columnas de presión inferior (54, 56) y la columna auxiliar (100) conectadas al intercambiador de calor (58), de modo que las corrientes líquidas de reflujo (70, 72, 112, 114, 118), compuestas de líquido rico en nitrógeno (64, 66), se introducen como reflujo en las columnas de presión superior (44, 46), las columnas de presión inferior (54, 56) y la columna auxiliar (100); estando al menos una unidad de subenfriamiento (124) situada entre las columnas de presión inferior (54, 56) y el al menos un intercambiador de calor principal (2), de modo que el líquido rico en nitrógeno (122) que se utiliza en la formación de las corrientes líquidas de reflujo (70, 72, 112), que se alimenta como reflujo a la columna de presión inferior (54, 56) y a la columna auxiliar (100), es subenfriado a través del intercambio de calor indirecto con corrientes de vapor de nitrógeno de presión inferior (140, 142, 144) compuestas de una cabeza de columna de presión inferior de nitrógeno, producida en las columnas de presión inferior (54, 56); y la cabeza (144) de columna auxiliar rica en nitrógeno y la al menos una corriente de vapor de nitrógeno de presión inferior (140, 142) son completamente calentadas en al menos un intercambiador de calor principal (2) utilizado en el enfriamiento del aire a una temperatura adecuada para su rectificación dentro de las unidades de separación de aire (3, 4).

13. El aparato de la reivindicación 10, en el que la columna de alta presión (44, 46) de cada una de las unidades de separación de aire (3, 4) están conectadas al por lo menos un intercambiador de calor principal (2), de modo que las corrientes de reflujo intermedias (160, 162) también se introducen en la columna de presión superior (44, 46) de cada una de las unidades de separación de aire (3, 4).

14. El aparato de la reivindicación 10, en el que:

la instalación de rectificación criogénica tiene al menos un compresor principal (12) para comprimir el aire y al menos una unidad de purificación previa (16) conectada a dicho al menos un compresor principal (12) para purificar el aire; al menos un primer compresor de refuerzo (22) está colocado entre la al menos una unidad de purificación previa (16) y el al menos un intercambiador de calor principal (2), de modo que la parte (20) del aire se comprime dentro del primer compresor de refuerzo (22) para formar la al menos una corriente de aire comprimido (24); al menos un segundo compresor de refuerzo (30, 32) está colocado entre la al menos una unidad de purificación previa (16) y el al menos un intercambiador de calor principal (2); al menos un turbo-expansor (36) está conectado al por lo menos un intercambiador de calor principal (2), de manera que otra parte (28) del aire se comprime aún más dentro del al menos un segundo compresor de refuerzo (30, 32), se enfría parcialmente en el al menos un intercambiador de calor principal (2) y se expande dentro del al menos un turbo-expansor (36), para formar así al menos una corriente de escape (38); y las columnas de presión superior (44, 46) están conectadas al por lo menos un turbo-expansor (36), de modo que las corrientes de aire de alimentación primaria (40, 42), compuestas por la al menos una corriente de escape (38), se introducen en las columnas de presión superior (44, 46).

15. El aparato de la reivindicación 14, en el que:

el al menos un compresor principal (12), la al menos una unidad de purificación previa (16), el al menos un primer compresor de refuerzo (22), el al menos un segundo compresor de refuerzo (30, 32), el al menos un intercambiador de calor principal (2), el al menos un turbo-expansor (36) y la al menos una bomba (86), son un compresor principal (12), una unidad de purificación previa (16), un primer compresor de refuerzo (22), un segundo compresor de refuerzo (30), un intercambiador de calor principal (2), una turbo-expansor (36) y una bomba (86), respectivamente; la al menos una corriente de aire comprimido (24) es una corriente de aire comprimido producida por el primer compresor de refuerzo (22); la al menos una corriente de líquido presurizado (94) es una corriente de líquido presurizado producida por la

bomba (86);
la al menos una corriente de escape (38) es una corriente de escape producida por el turbo-expansor (36); y
las corrientes de aire de alimentación primaria (40, 42) se componen de la corriente de escape (38).

