

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 843**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2009 PCT/US2009/047944**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.02.2010 WO10021784**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2009 E 09808556 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.01.2017 EP 2324313**

54 Título: **Método y aparato para separar aire**

30 Prioridad:

21.08.2008 US 195450

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

05.07.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HOWARD, HENRY EDWARD

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 621 843 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 para separar aire

5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un método y un aparato para la separación de aire en los cuales se integran plantas de separación de aire criogénicas para aumentar la producción de oxígeno. Más particularmente, la presente invención se refiere a dicho método y aparato en los cuales una primera planta de separación de aire criogénica produce una corriente de producto rico en oxígeno y una corriente de vapor de oxígeno impuro, producida por una segunda planta de separación de aire criogénica, se introduce dentro de la columna de presión inferior de la primera planta de separación de aire criogénica aumentando así la producción de oxígeno.

15 Antecedentes de la Invención

Existe una creciente necesidad de generar grandes cantidades de oxígeno a través de la separación criogénica de aire. Por ejemplo en algunos proyectos de gasificación se requieren más de entre aproximadamente 10000 y 15000 toneladas métricas al día de oxígeno. Normalmente, según aumenta el tamaño de la producción de la planta también aumenta el diámetro de la columna de destilación asociada para ser capaz de destilar un mayor caudal de masa de aire. A este respecto, normalmente el diámetro de destilación aumenta en proporción a la raíz cuadrada de la capacidad de la planta.

20 Sin embargo, hay limitaciones prácticas en el diámetro de la columna dado el hecho de que las columnas de destilación se fabrican normalmente fuera del sitio y se transportan a su destino.

25 Cuando los diámetros de la columna están en un intervalo de entre aproximadamente 6.0 y 6.5 metros, surgen las limitaciones de transporte. La consecuencia de esto es que la capacidad de producción de oxígeno de una sola planta de separación de aire criogénica que es mayor de aproximadamente 5000 toneladas métricas por día resulta muy poco práctica. Debido a esta restricción de tamaño se fabrican plantas de separación de aire paralelas. Sin embargo, la construcción de columnas adicionales para dichas plantas de separación de aire trae consigo un gasto considerable.

30 Más específicamente, se producen grandes cantidades de oxígeno dentro de las plantas criogénicas de separación de aire que emplean disposiciones en doble columna con una columna de presión superior y una columna de presión inferior. En dichas plantas el aire es comprimido, purificado y enfriado a una temperatura adecuada para su destilación. El aire es entonces introducido en la columna de presión superior. Dentro de la columna de presión superior, la introducción del aire produce una fase de vapor ascendente que resulta aún más rica en nitrógeno y una fase líquida descendente que resulta aún más rica en oxígeno. En la parte superior de la columna de alta presión, se produce una columna de vapor rico en nitrógeno suspendido que se condensa para iniciar la formación de la fase líquida descendente. Además, se usa una corriente del condensado para hacer fluir de nuevo la columna de presión inferior e iniciar una fase líquida descendente dentro de dicha columna.

35 40 Dentro de la columna de presión superior, se produce un líquido de caldera o un oxígeno líquido crudo que se introduce en la columna de presión inferior para un mayor refinamiento. Esto produce unos fondos de la columna rica en oxígeno de los que se puede tomar una corriente como un producto de oxígeno. Las columnas de presión superior e inferior pueden estar térmicamente conectadas mediante un condensador-recalentador que puede estar situado en o cerca de la base de la columna de presión inferior para condensar el vapor en suspensión rico en nitrógeno de la columna de presión superior contra la vaporización del líquido rico en oxígeno.

45 50 En la disposición en doble columna, por encima del punto en el que se introduce el oxígeno líquido crudo o el líquido de caldera, se produce una limitación o cuello de botella en la que para un tamaño de columna dado, cualquier aumento en el caudal de masa de aire de la alimentación de aire a la planta hará que la columna se inunde. Así, para un diámetro máximo de columna de entre aproximadamente 6 y aproximadamente 6.5 metros, la producción de un producto de oxígeno se limita a aproximadamente 5000 toneladas métricas por día.

55 60 En la técnica anterior, ha habido integraciones que involucran dos plantas criogénicas de separación de aire separadas con el objetivo de aumentar la producción del producto producido por las plantas criogénicas de separación de aire. Por ejemplo, en la Patente U.S. N° 6,666,048 se muestra una integración en la cual se integra una planta de generación de nitrógeno de columna única con una planta de producción de oxígeno de doble columna mediante la introducción de una corriente de residuos dentro de la corriente de aire entrante. En el generador de nitrógeno de columna única, se introduce una corriente de los fondos de la columna que es rica en nitrógeno en un intercambiador de calor que se usa para condensar el reflujo para dicha columna. La corriente vaporizada resultante produce la corriente de residuos. Sin embargo, aunque esto puede aumentar el flujo de aire dentro de la doble columna, la planta resultante no evita el cuello de botella ya que todavía existe la misma limitación con respecto al flujo por encima del punto de introducción del líquido de la caldera. Por consiguiente, el grado de aumento en la producción de oxígeno que se puede obtener de dicha integración es muy limitado.

65

Como será discutido, la presente invención proporciona una integración de dos plantas criogénicas de separación de aire en las cuales la producción de oxígeno se puede aumentar en mayor medida de lo que es posible en la técnica anterior y también de una manera que permita que se produzca un ahorro de energía.

5 Compendio de la Invención

La presente invención proporciona un método de separación de aire. De acuerdo con dicho método, el aire dentro de una primera corriente de aire es separado por un primer proceso de rectificación criogénica. El primer proceso de rectificación criogénica emplea una columna de presión superior y una columna de presión inferior. Una corriente de producto rico en oxígeno se retira de la columna de presión inferior y se compone de unos fondos de la columna de líquido rico en oxígeno producido en la columna de presión inferior. El aire es separado también dentro de una segunda corriente de aire por un segundo proceso de rectificación criogénica tal que se produce una corriente de vapor de oxígeno impuro que tiene una concentración de oxígeno entre la de la corriente de producto rico en oxígeno y el aire y una concentración de nitrógeno menor que la del aire. Al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro que es producida por el segundo proceso de rectificación criogénica se introduce en la columna de presión inferior del primer proceso de rectificación criogénica. Como resultado, se recupera el oxígeno contenido dentro de la primera corriente de aire y la corriente de vapor de oxígeno impuro en los fondos de la columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión inferior y se usa en la producción de la corriente de producto rico en oxígeno.

Ya que se recupera el oxígeno desde tanto la corriente de vapor de oxígeno impuro como del aire contenido dentro de la primera corriente de aire la producción de los fondos de la columna de líquido rico en oxígeno y por lo tanto, la tasa en la que se puede retirar la corriente de producto rica en oxígeno son aumentadas. Ya que el contenido en nitrógeno de dicha corriente de vapor de oxígeno impuro es inferior que el del aire, dicha corriente se puede añadir sin exceder las limitaciones de inundación operacional de la columna de presión inferior aliviando así el cuello de botella de la capacidad. Esto ha de contrastar con dichas integraciones de la técnica anteriores que se han discutido anteriormente en las cuales, en efecto, se aumenta el flujo de aire introducido en un sistema de doble columna. Ya que dicho aumento de flujo aumentará el flujo de nitrógeno a través de dicho sistema de columna, las limitaciones de inundación dentro de la columna de presión inferior evitarán un aumento en la producción de oxígeno en el mismo grado que el obtenible mediante la presente invención. Además, ya que en la presente invención, dicha corriente está siendo introducida en un estado impuro este puede ser producido con un menor gasto operacional de modo que se puede producir un ahorro general de energía.

Se puede bombear una corriente de los fondos de la columna de líquido rico en oxígeno para producir una corriente contenedora de oxígeno bombeada. Al menos parte de la corriente contenedora de oxígeno bombeada puede ser vaporizada dentro del primer proceso de rectificación criogénica, para producir de este modo la corriente de producto rico en oxígeno. El término "vaporizado" tal y como se usa en la presente memoria y en las reivindicaciones incluye un proceso en el cual se calienta una corriente de líquido supercrítica a la vez que se produce un cambio de estado desde un líquido a un vapor.

La primera corriente de aire y la segunda corriente de aire se pueden enfriar completamente dentro de un primer intercambiador de calor principal y un segundo intercambiador de calor principal, respectivamente. Dichos intercambiadores de calor principales se usan en conexión con los procesos primero y segundo de rectificación criogénica. La corriente de vapor de oxígeno impuro derivada del segundo proceso de rectificación criogénica se puede calentar completamente dentro del segundo intercambiador de calor principal y entonces al menos una parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro se puede enfriar completamente dentro del primer intercambiador de calor principal antes de ser introducida en la columna de presión inferior del primer proceso de rectificación criogénica. Es apropiado señalar que tal como se utiliza en la presente memoria y en las reivindicaciones, el término "completamente enfriado" significa enfriado a una temperatura en el extremo frío de un intercambiador de calor principal y "completamente calentado" significa calentado a una temperatura en el extremo caliente del intercambiador de calor principal.

El segundo proceso de rectificación criogénica puede producir una corriente de producto de nitrógeno. Esto permitirá a la instalación satisfacer los requerimientos de un proyecto relacionado con la energía, por ejemplo, la gasificación del carbón en la que se requiere oxígeno a alta presión para facilitar la gasificación mientras que el nitrógeno se puede añadir a una turbina de gas que utiliza el combustible producido por la gasificación para reducir Nox y aumentar la potencia.

El primer proceso de rectificación criogénica puede emplear una primera columna de presión superior y una primera columna de presión inferior. El segundo proceso de rectificación criogénica puede emplear una segunda columna de presión superior y una segunda columna de presión inferior. En la segunda columna de presión inferior se producen unos fondos de columna de líquido de oxígeno impuro y un vapor en suspensión rico en nitrógeno. Una corriente de vapor rico en nitrógeno compuesta del vapor rico en nitrógeno se puede retirar de la columna de presión inferior y se puede dividir en una primera y segunda corrientes de vapor ricas en nitrógeno. La primera de las corrientes de vapor ricas en nitrógeno se puede calentar completamente, para formar de este modo la corriente de producto de nitrógeno. La segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno se puede licuar e introducir en la columna de presión inferior como un reflujo. Se reduce en presión una corriente de los fondos de la columna de líquido

compuesta por los fondos de la columna de líquido de oxígeno impuro y se pasa en intercambio de calor indirecto con la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno licuando de este modo la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno y vaporizando la corriente de los fondos de la columna de líquido. La corriente de los fondos de la columna de líquido después de haber sido vaporizada se puede calentar completamente para formar de este modo la corriente de vapor de oxígeno impuro. Al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro se puede enfriar completamente antes de ser introducida en la primera columna de presión inferior.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato para separar aire. De acuerdo con este aspecto de la presente invención, se proporciona una primera planta de separación de aire criogénica que tiene una columna de presión superior y una columna de presión inferior. La primera planta de separación de aire criogénica se configura para separar el aire del oxígeno de una primera corriente de aire y para producir una corriente de producto rico en oxígeno compuesta por los fondos de la columna de líquido rico en oxígeno de la columna de presión inferior que contiene el oxígeno recuperado de la primera corriente de aire y de una corriente de vapor de oxígeno impuro introducida en la columna de presión inferior. Se configura una segunda planta de separación de aire criogénica para separar el aire dentro de una segunda corriente de aire tal que se produce una corriente de oxígeno impuro que tiene una concentración de oxígeno entre la de la corriente de producto rico en oxígeno y una concentración de nitrógeno menor que la del aire. La primera planta de separación de aire criogénica se conecta a la segunda planta de separación de aire criogénica tal que al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro producida por la segunda planta de separación de aire criogénica se introduce en la columna de presión inferior de la primera planta de separación de aire criogénica.

La primera planta de separación de aire criogénica puede tener una bomba interpuesta entre el intercambiador de calor principal y la columna de presión inferior para que una corriente de los fondos de la columna de líquido rico en oxígeno se bombee mecánicamente para producir una corriente contenedora de oxígeno presurizado. Al menos parte de la corriente contenedora de oxígeno bombeada se vaporiza dentro del intercambiador de calor principal, para producir de este modo la corriente de producto rico en oxígeno.

Se pueden proporcionar la primera y la segunda plantas criogénicas de separación de aire con un primer y un segundo intercambiador de calor principal, respectivamente. La primera planta de separación de aire criogénica y la segunda planta de separación de aire criogénica se pueden conectar tal que la corriente de vapor de oxígeno impuro se calienta completamente dentro del segundo intercambiador de calor principal y entonces al menos una parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro se enfría completamente dentro del primer intercambiador de calor principal antes de ser introducida en la columna de presión inferior de la primera planta de rectificación criogénica.

La segunda planta de separación de aire criogénica se puede configurar para producir una corriente de producto de nitrógeno. En tal caso, la columna de presión superior y la columna de presión inferior y un intercambiador de calor principal de la primera planta de separación de aire criogénica son una primera columna de presión superior, una primera columna de presión inferior y un primer intercambiador de calor principal. La segunda planta de separación de aire criogénica puede emplear una segunda columna de presión superior, una segunda columna de presión inferior y un segundo intercambiador de calor principal. La segunda planta de separación de aire criogénica se configura tal que se producen unos fondos de la columna de líquido de oxígeno impuro y un vapor en suspensión rico en nitrógeno en la segunda columna de presión inferior. El segundo intercambiador de calor principal se conecta a la segunda columna de presión inferior tal que una primera corriente de vapor rico en nitrógeno que está compuesta de una suspensión rica en nitrógeno se calienta completamente dentro del segundo intercambiador de calor principal, para formar de este modo la corriente de producto de nitrógeno. Se puede conectar un intercambiador de calor a la columna de presión inferior tal que una segunda corriente de vapor rica en nitrógeno que está compuesta de la columna de vapor en suspensión rico en nitrógeno se licua e introduce en la columna de presión inferior como un reflujo. Una corriente del fondo de la columna de líquido compuesta de los fondos de la columna de líquido de oxígeno impuro se pasa en intercambio de calor indirecto con la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno, licuando de este modo la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno y vaporizando la corriente de los fondos de la columna de líquido. Este intercambiador de calor se conecta al intercambiador de calor principal tal que la corriente del fondo de la columna de líquido después de haber sido vaporizada se calienta totalmente, para formar de este modo la corriente de vapor de oxígeno impuro. El segundo intercambiador de calor principal se conecta al primer intercambiador de calor principal para que al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro se enfríe completamente dentro del primer intercambiador de calor principal antes de ser introducida en la primera columna de presión inferior.

Breve descripción de los dibujos

Aunque la especificación concluye con las reivindicaciones que indican de manera inequívoca el objeto que el Solicitante considera su invención, se entiende que la invención se comprenderá mejor cuando se tome en relación con los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es una integración de dos plantas de separación de aire criogénicas para llevar a cabo un método de acuerdo con la presente invención; y

ES 2 621 843 T3

La Figura 2 es un diagrama de flujo del proceso, esquemático de una planta de separación de aire criogénica utilizada en la Figura 1 para producir una corriente de oxígeno impuro.

Descripción detallada

- 5 Con referencia a la Figura 1, se ilustra una planta 1 de separación de aire criogénica que se integra con una planta 2 de separación de aire criogénica para ser discutido de aquí en adelante para aumentar la producción de la corriente 106 de producto de oxígeno de la planta 1 de separación de aire criogénica.
- 10 Una primera corriente de aire 10 se introduce en una planta 1 de separación de aire criogénica para separar el nitrógeno del oxígeno. La primera corriente de aire 10 se comprime dentro de un primer compresor 12 a una presión que puede estar entre aproximadamente 5 bar (a) y aproximadamente 15 bar (a). El compresor 12 puede ser un, un compresor de engranaje integral, refrigerado con eliminación de condensado que no se muestra.
- 15 Después de la compresión, la corriente 14 de alimentación comprimida resultante se introduce en una unidad de prepurificación 16. La unidad de prepurificación 16 como bien se conoce en la técnica normalmente contiene bases de alúmina y/o un tamiz molecular que funcionan de acuerdo con un ciclo de adsorción de temperatura y / o de oscilación de presión en el que se adsorben la humedad y otras impurezas de mayor punto de ebullición. Como se conoce en la técnica, dichas impurezas de mayor punto de ebullición son normalmente, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos. Mientras que una base está operativa, otra base se regenera. Podrían usarse otros procesos tales como enfriamiento por agua de contacto directo, enfriamiento basado en refrigeración, contacto directo con agua enfriada y separación de fases.
- 20 La corriente 18 de alimentación comprimida y purificada resultante se divide entonces en una corriente 20 y una corriente 22. Normalmente, la corriente 20 está entre aproximadamente un 25 por ciento y aproximadamente un 35 por ciento de la corriente 18 de alimentación comprimida y purificada y como se ilustra, el resto es la corriente 22.
- 25 La corriente 20 se comprime más dentro de un compresor 23 que de nuevo puede comprender una compresión de engranaje integral, refrigerada. El segundo compresor 23 comprime la corriente 20 a una presión entre aproximadamente 25 bar (a) y aproximadamente 70 bar (a) para producir una primera corriente 24 comprimida. La primer corriente 24 comprimida se introduce después en un primer intercambiador 25 de calor principal donde es enfriada y licuada en el extremo frío del primer intercambiador 25 de calor principal.
- 30 La corriente 22 es comprimida además por un compresor de refuerzo 26 cargado con una turbina. Después de la eliminación del calor de compresión preferiblemente por, un refrigerador posterior 28, dicha corriente es comprimida aún más por un segundo compresor 29 de refuerzo a una presión que puede estar en el intervalo de entre aproximadamente 20 bar (a) y aproximadamente 60 bar (a) para producir una segunda corriente comprimida 30. La segunda corriente comprimida 30 se introduce entonces en el primer intercambiador 25 de calor principal en el cual se enfría parcialmente a una temperatura en un intervalo de entre aproximadamente 160 y aproximadamente 220 Kelvin y se introduce posteriormente en un turboexpansor 32 para producir una corriente 24 de escape que se introduce en la unidad 50 de separación de aire. Como se puede apreciar, la compresión de la corriente 22 podría tener lugar en una máquina de compresión única. Como se ilustra, el turboexpansor 32 se conecta con el primer compresor de refuerzo 26, bien directamente o mediante los engranajes apropiados. Sin embargo, es posible también que el turboexpansor esté conectado a un generador para generar electricidad que podría usarse en el sitio o ser enviada a la red.
- 35 40 45 Después de que la primera corriente comprimida 24 ha sido enfriada dentro del intercambiador principal 25, se expande en una válvula de expansión 45 en un líquido y se divide en las corrientes de líquido 46 y 48 para la introducción eventual dentro de la unidad 50 de separación de aire. La válvula de expansión 45 se podría reemplazar por un expansor de líquido para generar parte de la refrigeración.
- 50 Los componentes anteriormente mencionados de la corriente 10 de alimentación, oxígeno y nitrógeno, se separan dentro de una unidad 50 de columna de destilación que consiste de una columna 52 de presión superior y una columna 54 de presión inferior. Se entiende que si el argón fuera un producto necesario, se podría incorporar una columna de argón dentro de la unidad 50 de columna de destilación. La columna 52 de presión superior opera a presión superior que la columna 54 de presión inferior. A este respecto, la columna 54 de presión inferior normalmente funciona en entre aproximadamente 1.1 a aproximadamente 1.5 bar (a).
- 55 60 La columna 52 de presión superior y la columna 54 de presión inferior están en una relación de transferencia de calor tal que una columna de vapor en suspensión rico en nitrógeno extraída de la parte superior de la columna 52 de presión superior como una corriente 56 se condensa dentro de un condensador-recalentador 57 ubicado en la base de la columna 54 de presión inferior frente a la ebullición de los fondos 58 de la columna de líquido rico en oxígeno. La ebullición de los fondos 58 de la columna de líquido rico en oxígeno inicia la formación de una fase de vapor ascendente dentro de la columna 54 de presión inferior. La condensación produce una corriente 60 contenedora de nitrógeno líquido que se divide en las corrientes 62 y 64 que refluyen por la columna 52 de presión

superior y por la columna 54 de presión inferior, respectivamente, para iniciar la formación de las fases líquidas descendentes en dichas columnas.

5 La corriente de escape 34 se introduce en la columna 52 de presión superior junto con la corriente de líquido 4 para la rectificación mediante el contacto de una fase de vapor ascendente de dicha mezcla dentro de los elementos 66 y 68 de contacto de transferencia de masa con una fase líquida descendente que es iniciada por la corriente de reflujo 62. Esto produce unos fondos 70 de la columna de oxígeno líquido crudo y la columna de suspensión rica en nitrógeno que se discutió anteriormente. Una corriente 72 de los fondos de la columna de oxígeno líquido crudo se expande en un válvula 74 de expansión a la presión de la columna 54 de presión inferior y se introduce dentro de
10 dicha columna para un refinamiento adicional. Además, una corriente 272 de vapor de oxígeno impuro producida por una segunda planta 2 de separación de aire criogénica de una manera a ser discutida se enfría dentro del primer intercambiador 25 de calor principal y entonces se introduce dentro de la columna de presión inferior en un punto por debajo del de introducción de la corriente 72 de oxígeno líquido crudo. La segunda corriente 48 líquida se pasa a través de una válvula 76 de expansión, es expandida a la presión de la columna 54 de presión inferior y después se
15 introduce en la columna 54 de presión inferior.

La columna 54 de presión inferior se proporciona con los elementos 78, 80, 82, 84 y 85 de contacto de transferencia de masa que pueden ser bandejas o embalajes estructurados o embalajes aleatorios u otros elementos conocidos en la técnica. Como se dijo anteriormente, la separación produce unos fondos 58 de la columna de líquido rico en oxígeno y una columna de vapor en suspensión rico en nitrógeno que se extrae como una corriente 86 de producto de nitrógeno. Además, una corriente 88 de residuos se extrae también para controlar la pureza de la corriente 86 de producto de nitrógeno. Tanto la corriente 86 de producto de nitrógeno como la corriente 88 de residuos se pasan a través de una unidad 90 de subenfriamiento. La unidad 90 de subenfriamiento subenfriaría la corriente 64 de reflujo. Parte de la corriente 64 de reflujo así como de la corriente 92 pueden ser tomadas opcionalmente como producto
20 líquido y la parte restante 93 se puede introducir dentro de la columna 54 de presión inferior después de haber sido reducida en presión a través de una válvula 94 de expansión,

Después del paso a través de la unidad 90 de subenfriamiento, la corriente 86 de producto de nitrógeno y la corriente 88 de residuos se calientan completamente dentro de un intercambiador 25 de calor para producir una corriente 95 de producto de nitrógeno caliente y una corriente 96 de residuos caliente. La corriente 96 de residuos caliente se puede usar para regenerar los adsorbentes dentro de la unidad 16 de prepurificación. Además, una corriente 98 de líquido rico en oxígeno se extrae desde el fondo de la columna 54 de presión inferior que consiste de los fondos 58 de la columna de líquido rico en oxígeno. La corriente 96 de líquido rico en oxígeno puede ser bombeada mediante una bomba 99 para formar una corriente 100 contenedora de oxígeno presurizado. Parte de la corriente 100 de oxígeno líquido presurizado se puede tomar opcionalmente como una corriente 102 de producto de oxígeno líquido. El resto 104 se puede calentar completamente en el primer intercambiador 25 de calor y vaporizar para producir una corriente 106 de producto de oxígeno a presión.
30

La introducción de la corriente 272 de vapor de oxígeno impuro dentro de la columna 54 de presión inferior aumentará la cantidad de los fondos 58 de la columna de líquido rico en oxígeno producidos en la columna 54 de presión inferior sobre la producida a partir de la separación del oxígeno dentro de la primera corriente 10 de aire sola. Dicha corriente se puede añadir sin aumentar sustancialmente la carga de vapor de la columna 54 de presión inferior ya que, el contenido de nitrógeno de la corriente 272 de vapor de oxígeno impuro es menor que el del aire. Esto por supuesto no es sin limitación. Como se puede apreciar, para una concentración de oxígeno y nitrógeno dadas de la corriente 272 de vapor de oxígeno, según aumenta el flujo, el aire dirigido a la columna 52 de presión superior genera una cantidad relativamente fija de corriente 64 de reflujo que finalmente será un reflujo insuficiente para mantener una alta recuperación de oxígeno de la columna 54.
40

Cabe señalar que aunque la primera planta 1 de separación de aire se ilustra como que tiene columnas de presión superior e inferior conectadas en una relación de transferencia de calor mediante la provisión de un condensador-recalentador 57, son posibles otros tipos de plantas. Por ejemplo, las plantas de baja pureza de oxígeno se pueden usar en conexión con la presente invención. En dichas plantas, las columnas de presión superior e inferior no se conectan en una transferencia de calor como se muestra en la Figura 1. Por el contrario, el recalentado más bajo de la columna de presión inferior se proporciona normalmente mediante la condensación o la condensación parcial de una corriente de aire comprimido que se alimenta después a la columna de presión superior. Además, aunque se ilustra una turbina 32 de columna inferior, es posible un diseño de planta que incorpora una turbina de columna superior. Además, aunque se diseña la primera planta 1 de separación de aire para producir un producto de oxígeno de alta presión, la presente invención tiene aplicación para plantas de oxígeno gaseoso en las cuales se produce el oxígeno a presión inferior y/o como líquido directamente desde la columna de presión inferior. Con referencia a la
50 Figura 2 se ilustra una segunda planta de separación de aire criogénica 2 que está diseñada para generar nitrógeno y que produce la corriente 272 de oxígeno impuro o en otras palabras una corriente que contiene más oxígeno que el aire pero también una apreciable cantidad de nitrógeno. La segunda planta 2 de separación de aire criogénica es sólo un ejemplo de una planta que podría ser usada para generar una corriente de oxígeno impuro. Por ejemplo, se podrían usar los generadores de nitrógeno de columna única y en tal caso, la corriente de vapor de oxígeno impuro sería creada desde el líquido de los fondos de la columna que se vaporiza en el curso de la condensación del reflujo.
60
65

Otros ejemplos incluyen ciclos de doble columna que emplean múltiples condensadores-recalentadores. Además, la planta 2 de separación de aire criogénica no necesita operar a la misma presión que la planta 1 de separación de aire criogénica. Podría operar a una presión inferior que resulta en un ahorro de energía. Además, aunque la planta 2 de separación de aire criogénica es del tipo que se diseña para producir un producto de nitrógeno de alta pureza, la unidad particular usada para la planta 2 de separación de aire criogénica podría ser una unidad de menor pureza.

La planta 2 de separación de aire criogénica separa el aire dentro de una segunda corriente de aire 200. La segunda corriente de aire 200 se comprime en un compresor 202 y después se purifica dentro de una unidad 204 de prepurificación. El compresor 202 puede constituir múltiples etapas de compresión, refrigeración y eliminación del condensado. La unidad 204 de prepurificación puede ser del mismo tipo que la unidad 16 de prepurificación.

La corriente 206 de aire comprimido y purificado resultante se introduce después dentro de un intercambiador 208 de calor. Una primera corriente de aire 210 subsidiaria, formada a partir de parte de la corriente de aire 206 comprimida y purificada se enfría completamente y se descarga desde el extremo frío del intercambiador 208 de calor principal. Una segunda corriente de aire 212 subsidiaria que constituye la parte restante de la corriente 206 de aire comprimido y purificado se retira de un punto intermedio del intercambiador 208 de calor principal y como tal se enfría parcialmente, entre las temperaturas extremas de calor y frío del intercambiador 208 de calor principal.

La primera corriente 210 de aire subsidiaria se introduce dentro de una segunda columna 214 de presión superior que se proporciona con elementos 216 y 218 de contrato de transferencia de masa para iniciar la formación de una fase ascendente que resulte aún más rica en nitrógeno para producir una columna de suspensión rica en nitrógeno.

La segunda corriente 212 de aire subsidiaria, que puede tener un caudal de entre aproximadamente un 5 por ciento y aproximadamente un 20 por ciento del de la segunda corriente de aire 200, se expande dentro de un expansor 220 para producir una corriente de escape 222 que se introduce en una columna 224 de presión inferior para transmitir la refrigeración a la segunda planta 2 de separación de aire criogénica. La segunda columna 224 de presión inferior se proporciona con un condensador-recalentador 226 y elementos 228, 230 y 232 de contacto de transferencia de masa. Una corriente del vapor 234 rica en nitrógeno tomada de la columna 214 de presión superior se divide en una primera corriente 236 de vapor de nitrógeno y una segunda corriente 238 de vapor de nitrógeno. La primera corriente 236 de vapor de nitrógeno se condensa dentro de un condensador-recalentador 226 para producir una corriente 240 rica en nitrógeno que se usa para hacerla volver a fluir por la columna 214 de presión superior e iniciar la formación de una fase descendente que resulta aún más rica en oxígeno para producir un líquido de caldera 242 en una región del fondo de la segunda columna 214 de presión superior. Una corriente 244 de líquido de caldera se expande en una válvula 246 a la presión de la segunda columna 224 de presión inferior y se introduce a un nivel de la corriente 222 de escape para refinar más el líquido de caldera 242.

Una segunda torre de vapor en suspensión rico en nitrógeno se recoge en la parte superior de la segunda columna 224 de presión inferior y se extrae como una segunda corriente 226 de vapor rica en nitrógeno. La segunda corriente 226 de vapor rica en nitrógeno se divide en una segunda corriente 248 de producto de nitrógeno y una segunda corriente 250 rica en nitrógeno. La segunda corriente 250 rica en nitrógeno se condensa dentro de un intercambiador de calor 260 para producir una segunda corriente 252 de reflujo de nitrógeno líquido que se introduce dentro de la parte superior de la segunda columna 224 de presión inferior para iniciar la formación de una fase líquida descendente que resulta aún más rica en oxígeno para producir unos fondos 254 de la columna de líquido rico en oxígeno impuro en el fondo de la segunda columna 224 de presión inferior.

Una corriente de los fondos 262 de la columna de líquido de oxígeno impuro se retira del fondo de la segunda columna 224 de presión inferior, subenfriada dentro de una unidad de subenfriamiento 264, es expandida por la válvula 266 y después es introducida dentro de un armazón 268 que alberga el intercambiador de calor 260 para condensar la segunda corriente 250 de vapor rico en nitrógeno. Esto resulta en la vaporización del líquido 254 rico en oxígeno impuro para producir la corriente 270 de vapor de oxígeno impuro y un líquido 271 que contiene menos componentes volátiles tales como hidrocarburos que pueden eliminarse a través de un drenaje 269 del armazón 268 por consideraciones de seguridad. La corriente 270 de vapor de oxígeno impuro se calienta dentro de la unidad de subenfriamiento 264 y luego se calienta completamente dentro del segundo intercambiador 208 de calor principal para producir la corriente 272 de vapor de oxígeno impuro calentada para su introducción en la primera planta 1 de separación de aire criogénica.

La segunda corriente 248 de vapor de nitrógeno también se calienta dentro de la unidad de subenfriamiento 264 para ayudar a enfriar la corriente 262 de líquido rico en oxígeno y después se calienta completamente dentro del intercambiador 208 de calor. La segunda corriente 248 de producto de nitrógeno se introduce entonces dentro de un compresor 274 de producto de nitrógeno para la compresión junto con la primera corriente 238 de producto de nitrógeno la cual también se calienta completamente dentro del intercambiador 208 de calor principal y se introduce dentro de una etapa intermedia del mismo que está a una presión superior que la segunda corriente 248 de producto de nitrógeno. La compresión produce una corriente 276 de producto de nitrógeno presurizada que se puede utilizar directamente para un proceso descendente tal como la reducción de Nox dentro de una turbina de gas.

- Cabe señalar que la corriente 272 de vapor de oxígeno impuro podría ser alimentada directamente en la planta 1 de separación de aire criogénica sin haber sido completamente calentada dentro del segundo intercambiador 208 de calor principal. La segunda corriente de aire 200 se puede derivar desde la primera corriente de aire 10 alimentada a la primera planta de separación de aire criogénica. A este respecto, la segunda corriente de aire 206 podría tomarse del tren de compresión asociado con la corriente 18. En tal caso, no habría necesidad de un compresor 202 o de una unidad de prepurificación 204. Alternativamente, se podrían integrar el segundo intercambiador 208 de calor principal y el primer intercambiador 25 de calor principal entre las plantas. Además, aunque la planta 2 de separación de aire criogénica se ilustra como que sólo suministra una corriente 272 de vapor de oxígeno impuro a la planta 1 de separación de aire criogénica, podría suministrar dicha corriente a otras varias plantas. A este respecto , dichas otras plantas no necesitan ser iguales en tanto un tipo de dichas plantas puede ser capaz de generar también argón mientras otro tipo que está siendo servido por la misma planta de oxígeno impuro podría estar diseñado para producir solamente productos de oxígeno y/o nitrógeno. En un enclave de plantas podría haber múltiples vínculos entre plantas para suministrar oxígeno impuro a algunas de las plantas del enclave.
- 5
- 10
- 15 Aunque la presente invención se ha descrito con referencia a una realización preferida, como ocurrirá con los expertos en la técnica, numerosos cambios, añadidos y omisiones se pueden hacer sin salir del alcance de la presente invención como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de separación de aire que comprende:

5 separar el aire dentro de una primera corriente de aire mediante un primer proceso de rectificación criogénica, empleando el primer proceso de rectificación criogénica una columna de presión superior y una columna de presión inferior; retirar una corriente de producto rico en oxígeno de la columna de presión inferior, estando la corriente de producto rico en oxígeno compuesta por unos fondos de la columna de líquido rico en oxígeno producidos en la columna de presión inferior;

10 separar el aire dentro de una segunda corriente de aire mediante un segundo proceso de rectificación criogénica tal que se produzca una corriente de vapor de oxígeno impuro que tiene una concentración de oxígeno entre la de la corriente de producto rico en oxígeno y la del aire y una concentración de nitrógeno menor que la del aire; e

15 introducir al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro producida mediante el segundo proceso de rectificación criogénica dentro de la columna de presión inferior del primer proceso de rectificación criogénica tal que el oxígeno contenido dentro de la primera corriente de aire y de la corriente de vapor de oxígeno impuro se recupera en los fondos de la columna de líquido rico en oxígeno de la columna de presión inferior y se usa en la producción de la corriente de producto rico en oxígeno.

20 2. El método de la reivindicación 1, en donde:

se bombea una corriente de los fondos de la columna de líquido rico en oxígeno para producir una corriente contenedora de oxígeno bombeada; y

25 al menos parte de la corriente contenedora de oxígeno bombeada se vaporiza dentro del primer proceso de rectificación criogénica, para producir de este modo la corriente de producto rico en oxígeno.

3. El método de la reivindicación 1, en donde:

30 la primera corriente de aire y la segunda corriente de aire se enfrían completamente dentro de un primer intercambiador de calor principal y un segundo intercambiador de calor principal, respectivamente, que se usan en conexión con el primer proceso de rectificación criogénica y el segundo proceso de rectificación criogénica; y

la corriente de vapor de oxígeno impuro se calienta completamente dentro del segundo intercambiador de calor principal y después se enfría completamente dentro del primer intercambiador de calor principal antes de la introducción de al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro en la columna de presión inferior del primer proceso de rectificación criogénica.

35

4. El método de la reivindicación 2, en donde el segundo proceso de rectificación criogénica produce una corriente de producto de nitrógeno.

40

5. El método de la reivindicación 4, en donde:

la columna de presión superior y la columna de presión inferior del primer proceso de rectificación criogénica son una primera columna de presión superior y una primera columna de presión inferior;

45 el segundo proceso de rectificación criogénica emplea una segunda columna de presión superior y una segunda columna de presión inferior;

se producen unos fondos de la columna de líquido de oxígeno impuro y un de vapor en suspensión rico en nitrógeno en la segunda columna de presión inferior;

una corriente de vapor rico en nitrógeno compuesta por el vapor rico en nitrógeno se retira de la columna de presión inferior y se divide en la primera y segunda corrientes de vapor rico en nitrógeno;

50 la primera de las corrientes de vapor rico en nitrógeno se calienta completamente, para formar de este modo la corriente de producto de nitrógeno;

la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno se licua e introduce en la columna de presión inferior como un reflujo;

55 se reduce en presión una corriente de los fondos de la columna de líquido compuesta de los fondos de la columna de líquido de oxígeno impuro y se pasa en intercambio de calor indirecto con la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno licuando de este modo la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno y vaporizando la corriente de los fondos de la columna de líquido;

la corriente de los fondos de la columna de líquido después de haber sido vaporizada se calienta completamente, para formar de este modo la corriente de vapor rico en oxígeno; y

60 al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro se enfría completamente antes de ser introducida en la primera columna de presión inferior.

6. Un aparato para separar aire que comprende:

una primera planta de separación de aire criogénica que tiene una columna de presión superior y una columna de presión inferior, la primera planta de separación de aire criogénica se configura para separar el aire dentro de una primera corriente y producir una corriente de producto rico en oxígeno compuesta de unos fondos de la columna de líquido rico en oxígeno de la columna de presión inferior que contienen el oxígeno recuperado de la primera corriente de aire y de la corriente de vapor de oxígeno impuro introducidas en la columna de presión inferior;

una segunda planta de separación de aire criogénica configurada para separar el aire dentro de una segunda corriente de aire tal que se produce la corriente de vapor de oxígeno impuro que tiene una concentración de oxígeno entre la de la corriente de producto rico en oxígeno y la del aire y una menor concentración de nitrógeno; y

la primera planta de separación de aire criogénica conectada a la segunda planta de separación de aire criogénica tal que al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro producida por la segunda planta de separación de aire criogénica se introduce en la columna de presión inferior de la primera planta de separación de aire criogénica.

7. El aparato de la reivindicación 6 en donde la primera planta de separación de aire criogénica tiene una bomba interpuesta entre un intercambiador de calor principal y la columna de presión inferior para que una corriente de los fondos de la columna de líquido rico en oxígeno se bombee mediante la bomba para producir una corriente contenedora de oxígeno bombeada y al menos se vaporice parte de la corriente contenedora de oxígeno bombeada dentro del intercambiador de calor principal, para producir de este modo la corriente de producto rico en oxígeno.

8. El aparato de la reivindicación 6, en donde:

la primera planta de separación de aire criogénica y la segunda planta de separación de aire criogénica tienen un primer intercambiador de calor principal y un segundo intercambiador de calor principal, respectivamente; y

la primera planta de separación de aire criogénica y la segunda planta de separación de aire criogénica están conectadas tal que la corriente de vapor de oxígeno impuro se calienta completamente dentro del segundo intercambiador de calor principal y después al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro se enfría completamente dentro del primer intercambiador de calor principal antes de ser introducido en la columna de presión inferior de la primera planta de rectificación criogénica.

9. El aparato de la reivindicación 7, en donde la segunda planta de separación de aire criogénica se configura para producir una corriente de producto de nitrógeno.

10. El aparato de la reivindicación 9, en donde:

la columna de presión superior y la columna de presión inferior y el intercambiador de calor de la primera planta de separación de aire criogénica son una primera columna de presión superior, una primera columna de presión inferior y un primer intercambiador de calor principal;

la segunda planta de separación de aire criogénica emplea una segunda columna de presión superior, una segunda columna de presión inferior y un segundo intercambiador de calor principal;

la segunda planta de separación de aire criogénica se configura tal que se producen unos fondos de la columna de líquido de oxígeno impuro y un vapor en suspensión rico en nitrógeno en la segunda columna de presión inferior;

el segundo intercambiador de calor principal se conecta a la segunda columna de presión inferior tal que una primera corriente de vapor rico en nitrógeno compuesta del vapor en suspensión rico en nitrógeno se calienta completamente dentro del segundo intercambiador de calor principal, para formar de este modo la corriente de producto de nitrógeno;

un intercambiador de calor se conecta a la columna de presión inferior tal que una segunda corriente de vapor rico en nitrógeno compuesta del vapor en suspensión rico en nitrógeno se licúa e introduce dentro de la columna de presión inferior como un reflujo y una corriente de los fondos de la columna de líquido compuesta de los fondos de la columna de líquido de oxígeno impuro se pasa en intercambio indirecto de calor con la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno, licuando de este modo la segunda de las corrientes de vapor rico en nitrógeno y vaporizando la corriente de los fondos de la columna de líquido;

el intercambiador de calor conectado al intercambiador de calor principal tal que la corriente de los fondos de la columna de líquido después de haber sido vaporizada se calienta totalmente, para formar de este modo la corriente de vapor de oxígeno impuro; y

el segundo intercambiador de calor conectado al primer intercambiador de calor para que al menos parte de la corriente de vapor de oxígeno impuro se enfríe completamente dentro del primer intercambiador de calor principal antes de ser introducida en la primera columna de presión inferior.

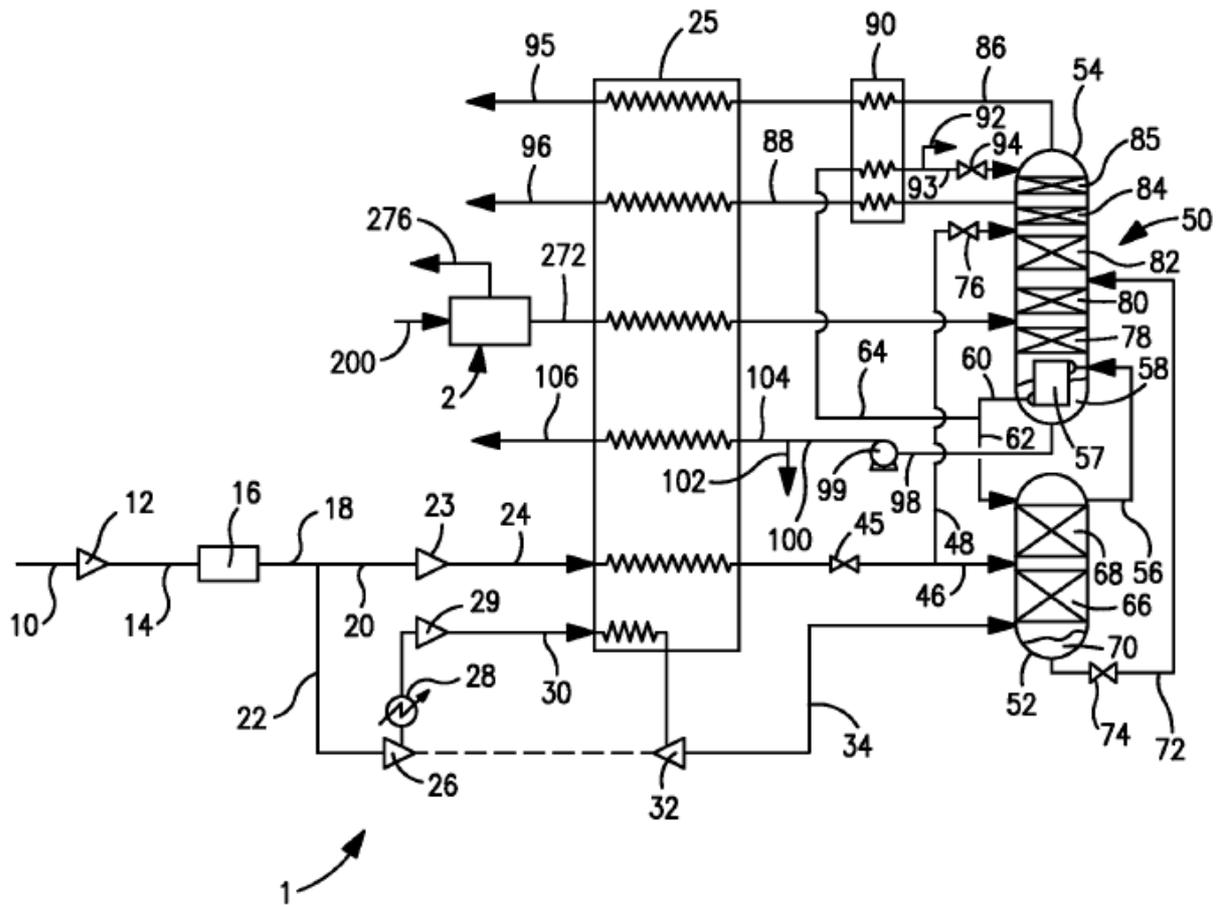


FIG. 1

