

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 280**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2012 PCT/US2012/065001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.06.2013 WO13085679**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2012 E 12794600 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017 EP 2788700**

54 Título: **Método y aparato de separación de aire**

30 Prioridad:

05.12.2011 US 201113311038
12.11.2012 US 201213674393

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

HOWARD, HENRY, EDWARD;
WATT, MATHEW, R. y
BERGMAN, THOMAS, J.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 644 280 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 separación de aire

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método y un aparato para separar aire, en los cuales se producen productos de oxígeno y nitrógeno como productos concurrentes al rectificar aire comprimido y purificado dentro de una columna de destilación principal con el fin de producir el producto de nitrógeno, y someter a burbujeo oxígeno líquido en bruto formado en la columna de destilación principal, dentro de una columna de destilación auxiliar para producir el producto de oxígeno.

Antecedentes de la invención

10 El nitrógeno se obtiene, por lo común, con una alta pureza separando el nitrógeno del aire dentro de una planta de separación de aire criogénica que emplea, a menudo, una única columna de destilación. En semejante planta, el aire es comprimido y, a continuación, purificado de contaminantes de más elevado punto de ebullición, a fin de producir una corriente de aire comprimido y purificado. La corriente de aire comprimido y purificado es entonces enfriada a una temperatura adecuada para su rectificación criogénica dentro de un intercambiador de calor principal, y, a
15 continuación, se introduce en una única columna de destilación que funciona a aproximadamente 3 bares o una presión mayor. El aire, dentro de la columna de destilación, es rectificado para producir una columna de vapor rico en nitrógeno en la parte superior y una columna líquida rica en oxígeno en la parte inferior, conocida como oxígeno líquido en bruto o líquido de caldera. El líquido rico en oxígeno se despresuriza en una válvula de expansión y, a continuación, se introduce en un intercambiador de calor para condensar una corriente de la columna de vapor rico
20 en nitrógeno de la parte superior y, con ello, producir nitrógeno líquido para alimentar como reflujo la columna de destilación. El líquido rico en oxígeno que es parcialmente evaporado puede ser utilizado para generar refrigeración para la planta, o, alternativamente, puede proporcionarse refrigeración a la planta a través de la adición de nitrógeno líquido a la columna principal o a una corriente que entra en el intercambiador de calor principal.

25 En general, no se recupera oxígeno de tales plantas de nitrógeno de una única columna. Sin embargo, hay un interés en recuperar también oxígeno de dichas plantas. Por ejemplo la producción de vidrio flotado requiere, por lo común, nitrógeno y oxígeno de baja pureza en una relación de flujo de aproximadamente 2:1. El oxígeno se emplea en el horno de vidrio para favorecer la recuperación y es, por lo común, necesario a una baja pureza de entre el 90 y el 95 por ciento y a una presión de entre 0,6895 bar y 1,3789 bar (entre 10 psig –libras por pulgada cuadrada manométricas [“pounds per square inch gauge”]– y 20 psig). Si bien este oxígeno puede ser proporcionado por una
30 planta de absorción oscilante de presión de vacío independiente o a través de la vaporización de líquido proporcionado sobre el terreno, el gasto que se añade no es justificable. Ha de resaltarse que tanto el oxígeno como el nitrógeno pueden ser producidos por una planta típica de separación de aire de doble columna que tiene columnas de alta y baja presión operativamente asociadas en una relación de transferencia de calor. Sin embargo, semejante planta no es económica en el caso de que haya de producirse, por ejemplo, vidrio flotado, debido a la
35 necesidad de la compresión del producto y del coste de capital inicial más alto. La modificación incremental de una pequeña planta de nitrógeno de una única columna para aportar productos tanto de nitrógeno como de oxígeno puede satisfacer desde el punto de vista económico los requisitos de procedimiento tales como la producción de vidrio flotado en la que los productos de nitrógeno y de oxígeno son requeridos a una presión y con un caudal de flujo modesto, por ejemplo, menor que 2.831,68 m³/h (100 kcfh –kilo pies cúbicos por hora [“kilo cubic feet per
40 hour”]–) de nitrógeno.

45 En la técnica anterior hay ejemplos de plantas de nitrógeno de una única columna que han sido modificadas para producir conjuntamente productos tanto de nitrógeno como de oxígeno. Por ejemplo, en el documento US 4.783.210, una corriente de la parte inferior de columna de oxígeno líquido en bruto es parcialmente evaporada en un intercambiador de calor que se utiliza a la hora de condensar una corriente de la parte superior, o cabecera, de columna de vapor rico en nitrógeno, producida en una columna de destilación. El líquido rico en nitrógeno que resulta se utiliza para alimentar como reflujo la columna. Una corriente de la fase líquida resultante producida por la evaporación parcial del oxígeno líquido en bruto es entonces sometida a burbujeo en una columna de destilación secundaria o auxiliar con el fin de producir una parte inferior de columna, rica en oxígeno, que puede ser extraída como un producto de oxígeno. La columna de destilación auxiliar vuelve a evaporarse con otra corriente del vapor
50 rico en nitrógeno, que se condensa en la reevaporación y puede ser extraída como un producto de nitrógeno líquido y, también, utilizada para alimentar como reflujo la columna de destilación.

55 El documento US 5.074.898 divulga un generador de nitrógeno de una única columna, con una columna de destilación auxiliar para producir un producto de oxígeno. En esta patente, una corriente de oxígeno líquido en bruto generada en una columna de destilación principal es sometida a burbujeo en una columna de destilación auxiliar. La columna de destilación auxiliar es reevaporada con una corriente de la parte superior de la columna de vapor rico en nitrógeno, producida en la columna de destilación principal. Esto condensa el vapor rico en nitrógeno para producir una alimentación como reflujo a la columna de destilación principal. El líquido residual generado en la columna de destilación auxiliar puede ser extraído como producto líquido, conjuntamente con parte del vapor de nitrógeno condensado.

En estas dos patentes, la parte inferior de la columna está siendo utilizada para condensar nitrógeno, de manera que debe haber, necesariamente, una presión inferior a la del nitrógeno para llevar a efecto la condensación del nitrógeno. Como resultado de ello, el producto de oxígeno se encuentra también a una presión baja. Por otra parte, puesto que una porción de la parte inferior de la columna se extrae como producto, habrá menos fluido de la parte inferior para condensar el nitrógeno. En consecuencia, la producción de nitrógeno es limitada. Como se explicará, la presente invención proporciona un método y un aparato para producir productos concurrentes de nitrógeno y oxígeno, que, entre otras ventajas, pueden permitir que el producto de oxígeno se produzca a una presión elevada. En otro aspecto de la presente invención, la parte inferior de la columna auxiliar se somete a una vaporización por etapas con el fin de hacer posible que una fracción mayor de oxígeno se obtenga a una potencia inferior en comparación con los procedimientos contemplados en la técnica anterior.

Por otra parte, en el documento US 4.560.397 A se divulga un método para separar aire a fin de producir productos concurrentes de oxígeno y nitrógeno, de tal manera que dicho método comprende:

enfriar una corriente comprimida y purificada que comprende el aire;

rectificar la corriente comprimida y purificada dentro de una columna de destilación principal con el fin de producir una columna de vapor rica en nitrógeno en la parte superior y oxígeno líquido en bruto;

producir un líquido rico en oxígeno y una parte superior de columna auxiliar que contiene no menos que el 5,0 por ciento de oxígeno en volumen dentro de una columna de destilación auxiliar, al despresurizar, al menos en parte, una corriente de oxígeno líquido en bruto compuesta por el oxígeno líquido en bruto, someter a burbujeo la corriente de oxígeno líquido en bruto, dentro de la columna de destilación auxiliar, con un gas de burbujeo ascendente, y evaporar parcialmente el líquido rico en oxígeno a través del intercambio de calor indirecto con una corriente de vapor rico en nitrógeno, compuesta por la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno, con lo que se produce una corriente de nitrógeno líquido, el gas de burbujeo y un líquido rico en oxígeno residual;

alimentar en reflujo la columna de destilación principal con al menos parte de la corriente de nitrógeno líquido;

formar una fracción de vapor rico en oxígeno a partir del líquido rico en oxígeno residual mediante el intercambio de calor indirecto entre una corriente del líquido rico en oxígeno residual y una corriente gaseosa que tiene una concentración de nitrógeno no menor que la del aire, de tal manera que la corriente del líquido rico en oxígeno residual se evapora parcialmente;

formar: una corriente de producto de nitrógeno a partir de la parte superior de la columna de vapor rico en nitrógeno; y una corriente de desecho a partir de la parte superior de la columna auxiliar; y

hacer pasar la corriente de producto de nitrógeno y la corriente de desecho en intercambio de calor directo con la corriente comprimida y purificada.

Compendio de la invención

La presente invención es un método para separar aire con el fin de producir productos concurrentes de oxígeno y nitrógeno según se define en la reivindicación 1, y un aparato para separar aire con el fin de producir productos concurrentes de oxígeno y nitrógeno según se define en la reivindicación 7.

Se forma una fracción de vapor rico en oxígeno a partir del líquido rico en oxígeno residual mediante el intercambio indirecto de calor entre una corriente del líquido rico en oxígeno residual y una corriente gaseosa que tiene una concentración de nitrógeno no menor que la del aire, de tal manera que la corriente del líquido rico en oxígeno residual se evapora parcialmente. Se forma una corriente de producto de oxígeno a partir de la fracción de vapor, se forma una corriente de producto de nitrógeno a partir del vapor rico en nitrógeno, y se forma una corriente de desecho a partir de la parte superior de columna auxiliar de la columna de destilación auxiliar. La corriente de producto de oxígeno, la corriente de producto de nitrógeno y la corriente de desecho se hacen pasar en intercambio de calor indirecto con la corriente comprimida y purificada.

Como puede apreciarse a partir de la anterior exposición, puesto que la corriente de producto de oxígeno se forma a partir de una fracción de vapor que es, a su vez, producida a partir del líquido rico en oxígeno residual, la producción del producto de oxígeno ya no está directamente acoplada a la producción de nitrógeno de reflujo a la columna de destilación principal, puesto que el líquido rico en oxígeno residual no se utiliza en la condensación del vapor rico en nitrógeno desde la columna de destilación principal. En consecuencia, la extracción del líquido rico en oxígeno residual no hace disminuir la alimentación como reflujo del nitrógeno hacia la columna de destilación principal y, por tanto, la producción de nitrógeno, como en la técnica anterior.

Adicionalmente, puesto que el líquido rico en oxígeno residual no se utiliza para condensar nitrógeno, este líquido puede ser producido a una presión más elevada.

Como se ha indicado anteriormente, la parte superior, o cabecera, de la columna auxiliar únicamente puede ser producida sometiendo a burbujeo la corriente de oxígeno líquido en bruto dentro de una columna de destilación

auxiliar. Alternativamente, la columna de destilación principal es alimentada en reflujo con parte de la corriente de nitrógeno líquido. En este último caso, el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto tiene lugar dentro de una sección de burbujeo de la columna de destilación auxiliar, y el burbujeo produce una corriente de vapor que contiene nitrógeno y oxígeno. La corriente de vapor que contiene nitrógeno y oxígeno es rectificada dentro de la columna de destilación auxiliar, en el interior de una sección de rectificación de la columna de destilación auxiliar situada por encima de la sección de burbujeo, introduciendo la corriente de vapor que contiene nitrógeno y oxígeno en la sección de rectificación, y alimentando en reflujo la columna de destilación auxiliar y, por tanto, la sección de rectificación con una parte adicional de la corriente de nitrógeno líquido. El efecto de esto es incrementar la recuperación de oxígeno en el seno del líquido rico en oxígeno residual al atrapar efectivamente el oxígeno que de otro modo se escaparía de la columna auxiliar, en el seno de la corriente de desecho.

En cualquiera de los casos antes mencionados, el líquido rico en oxígeno es recogido dentro de la columna de destilación auxiliar. El líquido rico en oxígeno es parcialmente evaporado al hacer pasar una corriente de líquido rico en oxígeno y la corriente de vapor rico en nitrógeno a través de un intercambiador de calor de un solo paso, para formar el gas de burbujeo y el líquido rico en oxígeno residual, que se recoge como parte inferior de columna en la columna de destilación auxiliar.

La corriente gaseosa es la corriente comprimida y purificada. La corriente comprimida y purificada es parcialmente condensada en un condensador, y la corriente del líquido rico en oxígeno residual se recoge en una vasija de separación. Se introduce en el condensador una corriente de fase líquida, formada por una fase líquida producida dentro de la vasija de separación, y se evapora parcialmente en el condensador a través de un intercambio de calor indirecto con la corriente comprimida y purificada, por lo que se produce una corriente de dos fases a partir de la corriente de fase líquida. La corriente de dos fases se introduce en la vasija de separación, y las fases líquida y de vapor de la corriente de dos fases son separadas dentro de la vasija de separación para formar una fracción de vapor rico en oxígeno, y la fase líquida, conjuntamente con la corriente del líquido rico en oxígeno residual, se recogen en la vasija de separación. La corriente de producto de oxígeno es, entonces, formada descargando una corriente de la fracción de vapor rico en oxígeno desde la vasija de separación.

El condensador está situado en una región inferior de la columna de destilación principal, de tal manera que el aire condensado se mezcla con el líquido descendente producido por la rectificación, a fin de producir, con ello, el oxígeno líquido en bruto como una parte inferior de columna perteneciente a la columna de destilación principal. Por otra parte, la columna de destilación principal puede ser alimentada en reflujo con parte de la corriente de nitrógeno líquido, y la corriente de desecho intercambia calor indirectamente con la corriente de oxígeno líquido en bruto, de tal manera que la corriente de oxígeno líquido en bruto es subenfriada antes de ser despresurizada.

Como alternativa para formar la corriente gaseosa a partir de la corriente comprimida y purificada, la corriente gaseosa puede estar compuesta por la parte inferior de columna de vapor rico en nitrógeno. En tal realización, se intercambia indirectamente el calor entre la corriente del líquido rico en oxígeno residual y la corriente gaseosa mediante la despresurización de una corriente líquida enriquecida en oxígeno y el paso de la corriente del líquido rico en oxígeno residual en intercambio de calor indirecto con la corriente gaseosa dentro de un reevaporador de termosifón. Esto produce la fracción de vapor a partir de la evaporación parcial de la corriente del líquido rico en oxígeno residual, y una corriente de condensado a través de la condensación de la corriente de gas. La corriente de condensado se introduce en la columna de destilación principal como reflujo, conjuntamente con la corriente de nitrógeno líquido.

En la realización anteriormente descrita, la corriente de desecho puede hacerse pasar en intercambio de calor indirecto con la corriente de oxígeno líquido en bruto, antes de la despresurización de la corriente de oxígeno líquido en bruto, de tal manera que la corriente de oxígeno líquido en bruto es subenfriada.

En cualquier realización de la presente invención, la corriente del líquido rico en oxígeno residual puede ser presurizada, de tal manera que la corriente de producto de oxígeno es también presurizada. Por otra parte, puede introducirse una corriente de refrigeración de nitrógeno líquido en la columna de destilación principal para impartir refrigeración.

La presente invención también proporciona un aparato para separar aire con el fin de producir los productos concurrentes de oxígeno y nitrógeno. Tal aparato incluye un intercambiador de calor principal, una columna de destilación principal y una columna de destilación auxiliar. El intercambiador de calor principal se ha configurado para enfriar una corriente comprimida y purificada que comprende el aire, y la columna de destilación principal se ha configurado para rectificar la corriente comprimida y purificada con el fin de producir una columna de vapor rica en nitrógeno en la parte superior, y oxígeno líquido en bruto. La columna de destilación auxiliar está conectada a la columna de destilación principal y se ha configurado de tal manera que una corriente de oxígeno líquido en bruto, compuesta por el oxígeno líquido en bruto, se somete a burbujeo con un gas de burbujeo ascendente situado dentro de la columna de destilación auxiliar, y se producen un líquido rico en oxígeno y una parte superior, o cabecera, de la columna auxiliar, que contiene no menos del 5,0 por ciento de oxígeno en volumen, al menos en parte, como resultado del burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto. Existe una válvula de expansión situada entre la columna de destilación principal y una columna de destilación auxiliar, de tal manera que la corriente de oxígeno líquido es despresurizada antes de su introducción en la columna de destilación auxiliar.

Se han proporcionado unos medios para evaporar parcialmente el líquido rico en oxígeno por medio del intercambio de calor indirecto con una corriente de vapor rico en nitrógeno compuesta por la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno, por lo que se produce una corriente de nitrógeno líquido, el gas de burbujeo y un líquido rico en oxígeno residual. Los medios de evaporación parcial de líquido rico en oxígeno están conectados a la columna de destilación principal de tal manera que la columna de destilación principal se alimenta en reflujo con al menos parte de la corriente de nitrógeno líquido. El intercambiador de calor principal está conectado a la columna de destilación principal y a la columna de destilación auxiliar, de tal manera que una corriente de producto de nitrógeno formada a partir del vapor rico en nitrógeno, y una corriente de desecho formada a partir de la parte superior de columna auxiliar de la columna de destilación auxiliar, intercambian calor indirectamente con la corriente de aire comprimido y purificado. Se han proporcionado también unos medios para intercambiar indirectamente calor entre una corriente del líquido rico en oxígeno residual y una corriente gaseosa que tiene una concentración de nitrógeno no menor que la del aire, de tal manera que la corriente del líquido rico en oxígeno residual se evapora parcialmente. Por otra parte, se han proporcionado unos medios para formar una fracción de vapor rico en oxígeno a partir de la corriente del líquido rico en oxígeno residual, tras haber sido parcialmente evaporada. El intercambiador de calor principal está conectado a los medios de formación de fracción de vapor rico en oxígeno, a la columna de destilación principal y a la columna de destilación auxiliar, de tal manera que una corriente de producto de oxígeno, compuesta por la fracción de vapor rico en oxígeno, una corriente de producto de nitrógeno, compuesta por la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno, y una corriente de desecho, compuesta por la parte superior de columna auxiliar de la columna de destilación auxiliar, pasan al interior del intercambiador de calor principal, en intercambio de calor indirecto con la corriente comprimida y purificada.

La columna auxiliar puede ser provista únicamente de una sección sometida a burbujeo en la que tiene lugar el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto. Como alternativa, la columna auxiliar puede ser provista de una sección de burbujeo y de una sección de rectificación, situada por encima de la sección de burbujeo. En este último caso, el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto tiene lugar dentro de una sección de burbujeo de la columna de destilación auxiliar, y la corriente de vapor con contenido de oxígeno se produce en la sección de burbujeo que entra en la sección de rectificación para la rectificación de la corriente de vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno. Esta rectificación se proporciona para aumentar, con ello, la recuperación de oxígeno en el seno del líquido rico en oxígeno residual. Los medios de evaporación parcial de líquido rico en oxígeno están conectados a la columna de destilación principal de tal modo que la columna de destilación principal es alimentada en reflujo con parte de la corriente de nitrógeno líquido, y está también conectada a la columna de destilación auxiliar de un modo tal, que la columna de destilación auxiliar y, por tanto, la sección de rectificación son alimentadas en reflujo con una parte adicional de la corriente de nitrógeno líquido. Otra válvula de expansión se coloca entre los medios de evaporación parcial de líquido rico en oxígeno y la columna de destilación auxiliar, de tal manera que la presión de la parte adicional de la corriente de nitrógeno líquido se reduce a la de la columna de destilación auxiliar.

La columna de destilación auxiliar está provista de medios para recoger el líquido rico en oxígeno. Los medios de evaporación parcial del líquido rico en oxígeno consisten en un intercambiador de calor de un solo paso conectado a una columna de destilación auxiliar y a los medios de recogida de líquido rico en oxígeno, de tal manera que el líquido rico en oxígeno es parcialmente evaporado dentro del intercambiador de calor de un solo paso, mediante el paso de una corriente de líquido rico en oxígeno, compuesta por el líquido rico en oxígeno, y el líquido rico en oxígeno residual se recoge como una parte inferior de columna de la columna de destilación auxiliar. La columna de destilación auxiliar se conecta al intercambiador de calor de un solo paso de manera tal, que la corriente de vapor rico en nitrógeno es condensada dentro del intercambiador de calor de un solo paso.

La corriente gaseosa es la corriente de aire comprimido y purificado. En tal caso, la corriente de los medios de intercambio de calor de líquido rico en oxígeno residual y los medios de formación de fracción de vapor rico en oxígeno consisten en un condensador y una vasija de separación. El condensador está conectado al intercambiador de calor principal de un modo tal, que la corriente comprimida y purificada es parcialmente condensada. La vasija de separación está conectada a la columna de destilación auxiliar, de tal manera que la corriente del líquido rico en oxígeno residual se recoge en la vasija de separación. La vasija de separación está conectada al condensador de tal manera que una corriente de fase líquida, compuesta por una fase líquida producida dentro de la vasija de separación, es parcialmente evaporada en el condensador para producir una corriente de dos fases que se introduce en la vasija de separación. Las fases líquida y de vapor de la corriente de dos fases son separadas dentro de la vasija de separación para formar la fracción de vapor rico en oxígeno y la fase líquida, y el intercambiador de calor principal está conectado a la vasija de separación de manera tal, que la corriente de producto de oxígeno se forma a partir de la fracción de vapor rico en oxígeno.

El condensador está situado en una región inferior de la columna de destilación principal, de tal modo que el aire condensado se mezcla con el líquido descendente producido por la rectificación de la corriente comprimida y purificada, a fin de producir el oxígeno líquido en bruto en forma de una parte inferior de columna de la columna de destilación principal. Por otra parte, el intercambiador de calor de un solo paso puede estar conectado a la columna de destilación principal de tal manera que la columna de destilación principal sea alimentada en reflujo con parte de la corriente de nitrógeno líquido. Un intercambiador de calor de subenfriamiento está conectado al intercambiador de calor de un solo paso, a la columna de destilación auxiliar y a la válvula de expansión, de tal modo que la corriente

de desecho intercambia calor indirectamente con la corriente de oxígeno líquido en bruto del interior del intercambiador de calor de subenfriamiento, y la corriente de oxígeno líquido en bruto es subenfriada antes de su paso a través de la válvula de expansión.

5 Como alternativa, la corriente gaseosa puede estar compuesta por el vapor rico en nitrógeno. En tal caso, la corriente de los medios de intercambio de calor de líquido rico en oxígeno y los medios de formación de fracción de vapor rico en oxígeno están constituidos por un reevaporador de termosifón que tiene una carcasa. La carcasa está conectada a la columna auxiliar para recibir la corriente del líquido rico en oxígeno residual, y existe otra válvula de expansión situada entre la carcasa y la columna auxiliar, de tal manera que la corriente del líquido rico en oxígeno residual es despresurizada. El reevaporador de termosifón está conectado a la columna de destilación principal para recibir la corriente gaseosa y, con ello, condensar la corriente gaseosa a través de un intercambio de calor indirecto con la corriente del líquido rico en oxígeno residual, y, con ello, formar la fracción de vapor rico en oxígeno dentro de la carcasa y descargar una corriente de condensado a la columna de destilación principal como reflujo, conjuntamente con la corriente de nitrógeno líquido. El intercambiador de calor principal está conectado a la carcasa, a la columna de destilación principal y a la columna de destilación auxiliar de manera tal, que una corriente de producto de oxígeno, formada a partir de la fracción de vapor, una corriente de producto de nitrógeno, formada a partir de la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno, una corriente de desecho, formada a partir de la parte superior de columna auxiliar, producida en la columna de destilación auxiliar, pasan, todas ellas, por dentro del intercambiador de calor principal, en intercambio de calor indirecto con la corriente comprimida y purificada.

20 En la realización anteriormente expuesta, el intercambiador de calor de subenfriamiento está situado entre la columna de destilación auxiliar, la columna de destilación principal y el intercambiador de calor principal, de tal modo que la corriente de desecho pasa en intercambio de calor indirecto con la corriente de oxígeno líquido en bruto, antes de la despresurización de la corriente de oxígeno líquido en bruto y antes del calentamiento de la corriente de desecho dentro del intercambiador de calor principal.

25 En cualquier realización de la presente invención, la columna de destilación principal puede estar provista de una entrada superior para la introducción de una corriente de refrigeración de nitrógeno líquido, a fin de impartir refrigeración.

Breve descripción de los dibujos

30 Si bien la presente invención concluye con reivindicaciones que señalan distintivamente la materia objeto que los presentes Solicitantes consideran como su invención, se cree que la presente invención se comprenderá mejor al tomarse en conexión con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 es una ilustración esquemática de una planta de separación de aire para llevar a cabo un método de acuerdo con la presente invención;

La Figura 2 es una ilustración esquemática de una realización alternativa de una planta de separación de aire para llevar a cabo un método cuya realización no cae dentro del alcance de las reivindicaciones; y

35 La Figura 3 es una ilustración esquemática de aún otra realización alternativa de una planta de separación de aire para llevar a cabo un método de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada

Haciendo referencia a la Figura 1, se ilustra en ella una planta 1 de separación de aire que es capaz de producir de forma concurrente productos de oxígeno y nitrógeno ("N₂" y "O₂").

40 Una corriente de aire comprimido y purificado 10 es enfriada en un intercambiador de calor principal 12 hasta una temperatura adecuada para su rectificación en, o de cerca de, su saturación. Como puede apreciarse, la planta 1 de separación de aire puede formar parte de una instalación que requiere aire comprimido y, de esta forma, puede formarse la corriente de aire comprimido y purificado 10 a partir de parte del aire producido en tal instalación. Alternativamente, dicha corriente puede generarse comprimiendo el aire, por lo común, entre 4,8263 bar y 6,2053 bar (entre 70 psia –libras por pulgada cuadrada absolutas ["pounds per square inch absolute"]– y 90 psia), y, a continuación, purificando el aire de los contaminantes de punto de ebullición mayor, que se solidificarían o concentrarían a temperaturas criogénicas; por ejemplo, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos. El intercambiador de calor principal 12 puede ser de una construcción delgada de placa de aluminio soldada convencional. Tal como se les ocurriría a las personas expertas en la técnica, el intercambiador de calor 12 puede estar constituido por una pluralidad de unidades que funcionan en paralelo.

55 La corriente de aire comprimido y purificado 10, una vez enfriada, es introducida en un condensador 14 situado en una región inferior 16 de una columna de destilación principal 18. La columna de destilación 18 contiene elementos de contacto con transferencia de masa, tales como bandejas, empaquetamientos estructurados, empaquetamientos aleatorios o una combinación de tales elementos que se indica generalmente por el número de referencia 20. El aire entrante es parcialmente condensado dentro del condensador 14 para producir una fracción de vapor 22 que asciende al interior de los elementos 20 de contacto con transferencia de masa con el fin de contactar con una fase

líquida descendente que produce una parte superior 23 de columna de vapor rico en nitrógeno. La parte superior 23 de columna de vapor rico en nitrógeno será, por lo común, esencialmente nitrógeno puro. La condensación parcial del aire produce una fracción líquida 24 que constituye en torno al 20 por ciento del aire entrante y que se recoge, conjuntamente con el líquido que ha descendido por el interior de los elementos 20, dentro de la región inferior 16 de la columna de destilación principal 18, como oxígeno líquido en bruto 26.

Ha de apreciarse que unos medios alternativos para condensar el aire entrante consistirían en colocar el condensador 14 fuera de la columna de destilación principal 18. Sin embargo, dicha realización no cae dentro del alcance de las reivindicaciones. En conexión con tales medios, la fracción líquida 24 y el líquido que hubiera descendido por el interior de la columna de destilación 20 podrían ser combinados por separado para formar el oxígeno líquido en bruto 26, o bien podrían ser subenfriados y suministrados por separado a la columna 34. En otros de tales medios, la corriente de aire comprimido y purificado puede ser introducida directamente dentro de la carcasa de la columna de destilación principal. Se permitirá que el aire se mezcle con el vapor del interior de la columna y con el vapor que se ha hecho recircular 22 desde el condensador 14. En tal configuración, el condensador no tendrá cabecera del lado de condensación, es decir, se inducirá al gas sencillamente a fluir al interior del intercambiador mediante condensación. Como alternativa adicional, una porción de la corriente de aire enfriado 10 puede ser dirigida a la carcasa de la columna 18, y una porción, conducida directamente al condensador 14. Semejante configuración hará posible una modificación de los flujos de oxígeno y nitrógeno de producto. Sin embargo, esta configuración requerirá válvulas y medios de control adicionales. Unos medios adicionales consistirían en emplear una corriente de aire independiente que podría ser comprimida adicionalmente. La corriente de aire independiente se dividirá, bien por el extremo caliente, en el caso de que se comprima adicionalmente, o bien, si no es así comprimida, por el extremo frío. La corriente será entonces totalmente condensada en el interior del condensador 14. El aire condensado será entonces introducido en un emplazamiento entre etapas de la columna de destilación principal 18 a través de conducciones adecuadas. El aire condensado no será recogido en el sumidero de la columna sino que, en lugar de ello, se suministrará aire licuado varias etapas por encima con respecto a la parte inferior de la columna de destilación principal 14.

Una corriente de oxígeno líquido en bruto 28 compuesta por el oxígeno líquido en bruto 26 es, entonces, preferiblemente subenfriada dentro de un intercambiador de calor de subenfriamiento 30 y despresurizada dentro de una válvula de expansión 32, situada entre la columna de destilación principal 18 y la columna auxiliar 34, hasta una presión de, preferiblemente, entre 1,0342 bar y 1,7237 bar (entre 15 psia y 25 psia). La corriente de oxígeno líquido en bruto 28 es sometida a burbujeo en el interior de una columna de destilación auxiliar 34 al poner en contacto dicha corriente con una corriente de gas de burbujeo ascendente 52 del interior de unos elementos de contacto con transferencia de masa 36 que pueden ser bandejas, empaquetamientos estructurados, empaquetamientos aleatorios o una combinación de tales elementos. El burbujeo produce una parte superior 38 de columna auxiliar que contiene, por lo común, entre el 80 por ciento y el 90 por ciento en volumen de nitrógeno, y un líquido rico en oxígeno residual 56 que contiene, por lo común, del 85 por ciento al 98 por ciento en volumen de oxígeno.

El líquido rico en oxígeno 40 puede ser recogido dentro de una bandeja de recogida 42 o por medios similares en los que el líquido descendente es recogido y el vapor ascendente se permite pasar a su través, y al interior de los medios de contacto con transferencia de masa 36. Una corriente 44 del líquido rico en oxígeno, compuesta por el líquido rico en oxígeno 40, es parcialmente evaporada a través del intercambio indirecto de calor con una corriente 46 de vapor rico en nitrógeno, compuesta por el vapor rico en nitrógeno 23, dentro de un intercambiador de un solo paso 48. Como resultado del intercambio de calor indirecto, se produce una corriente de nitrógeno líquido 50. La corriente del líquido rico en oxígeno 44 es parcialmente evaporada para producir el gas de burbujeo 52 y una corriente de gas y líquido residual 54 que se recoge en la parte inferior de la columna de destilación 34, en forma de un líquido rico en oxígeno residual 56. Ha de apreciarse que, en una realización alternativa, puede extraerse una corriente de dos fases desde el lado de ebullición del intercambiador de calor de un solo paso, a partir de la columna de destilación auxiliar 34, y dirigirse a un separador de fases independiente para producir la corriente de líquido rico en oxígeno residual 68, y una fase de vapor será entonces conducida de vuelta a la columna de destilación auxiliar 34 para formar el gas de burbujeo 52. Si bien no se prefiere, esto será equivalente a lo mostrado en las figuras.

Como medios alternativos al intercambiador de calor de un solo paso 48 y a la bandeja de recogida 42, puede emplearse un reevaporador de termosifón situado en la base de la columna auxiliar 34 para evaporar parcialmente el líquido rico en oxígeno 40 que cae desde los elementos de contacto con transferencia de masa 36 al interior de la base de la columna auxiliar 34. El núcleo de dicho reevaporador deberá asentarse en el seno del líquido rico en oxígeno residual y producir el gas de burbujeo mediante la evaporación del líquido rico en oxígeno 40. Esto, sin embargo, no será preferible, dado que tal intercambiador de calor no funcionará con las diferencias de temperaturas de un intercambiador de calor de un solo paso; y, en consecuencia, el aire entrante tendrá que ser comprimido a una presión más elevada.

La corriente de nitrógeno líquido 50, en su totalidad o en una parte de ella, como se ilustra, puede ser introducida en la columna de destilación principal 18 como una corriente de reflujo 58. El resto, como corriente de nitrógeno líquido adicional 60 (despresurizada por medio de una válvula 63) y una corriente de desecho 62, compuesta por la parte superior 38 de la columna auxiliar, puede ser introducida, en primer lugar, en el intercambiador de calor de subenfriamiento 30, en intercambio de calor indirecto con la corriente de oxígeno líquido en bruto 28 para propósitos

de subenfriamiento de la misma, y, a continuación, hacerse pasar en intercambio de calor indirecto con la corriente de aire comprimido y purificado entrante 10, a fin de ayudar a enfriar la misma dentro del intercambiador de calor principal 12. Alternativamente, la corriente 60 y la corriente 62 pueden ser combinadas y calentadas. Una vez calentadas, la corriente de nitrógeno líquido adicional 60 será descargada del intercambiador de calor principal 12 como un producto concurrente de nitrógeno gaseoso ("N₂"), y la corriente de desecho 62 puede ser utilizada en la regeneración de absorbentes empleados en una unidad de purificación preliminar que se utiliza para purificar preliminarmente el aire entrante y se utiliza en asociación con la planta 1 de separación de aire. Por otra parte, es también posible reciclar la totalidad o parte de dicha corriente volviendo a comprimirla y combinándola con el aire entrante. Ha de apreciarse que la utilización de la corriente 60 es opcional, y la vaporización de la corriente de nitrógeno líquido 60 sirve para proporcionar subenfriamiento adicional a la corriente 28 y, por tanto, hace posible una mayor producción de oxígeno.

Ha de apreciarse que puede extraerse la corriente de reflujo de nitrógeno líquido 60 de una posición entre etapas de la columna 20, antes de pasar a través de la válvula 63.

Debe apreciarse también que el intercambiador de calor de subenfriamiento 30 o 30' que se va a explicar puede ser integrado con el intercambiador de calor principal 12. Es igualmente posible que una realización de la presente invención pueda ser construida sin hacer uso de tales intercambiadores de calor de subenfriamiento 30 o 30'. En cualquier caso, en la realización ilustrada, la corriente de nitrógeno líquido adicional 60 puede ser despresurizada en una válvula de expansión 63 antes de pasar a través del intercambiador de calor de subenfriamiento 30 y del intercambiador de calor principal 12.

El producto concurrente de nitrógeno se obtiene por el calentamiento de una corriente de producto de nitrógeno 64, compuesta por la parte superior 23 de columna de vapor rico en nitrógeno, dentro del intercambiador de calor principal 12, a través de un intercambio de calor indirecto con la corriente entrante de aire comprimido y purificado 10, a fin de ayudar también a enfriar la misma. Como se ilustra, la corriente de producto de nitrógeno 64 y la corriente de vapor rico en nitrógeno 46 se producen dividiendo una corriente de vapor rico en nitrógeno 66, extraída de la parte superior de la columna de destilación principal 18, en las dos corrientes anteriores. Sin embargo, la corriente de producto de nitrógeno 64 y la corriente de vapor rico en nitrógeno 46 pueden ser extraídas por separado de la columna de destilación principal 18. Ha de apreciarse que, puesto que toda la corriente de nitrógeno líquido 50 puede ser introducida en la columna de destilación principal 18 como reflujo, el producto concurrente de nitrógeno puede formarse únicamente a partir de la corriente de producto de nitrógeno 64 calentada.

El producto concurrente de oxígeno se produce extrayendo una corriente 68 del líquido enriquecido en oxígeno residual, compuesta por el líquido enriquecido en oxígeno residual 56, e introduciendo dicha corriente en una vasija de separación 70. Una corriente fase líquida 72, compuesta por la fase líquida 74, es parcialmente evaporada en el condensador 14 para producir una corriente de dos fases 76 a través de un intercambio de calor indirecto con la corriente entrante de aire comprimido y purificado 10, por lo que se condensa parcialmente la corriente de aire comprimido y purificado 10. Las fracciones líquida y de vapor de la corriente de dos fases 76 son separadas dentro de la vasija de separación para formar una fracción de vapor y una fase líquida 74 producida por la separación con la corriente y la adición del líquido rico en oxígeno residual 68. Puede emplearse una válvula de control (no mostrada) para modular la presión de funcionamiento de la vasija 70. La corriente de producto de oxígeno se forma a partir de una corriente de fase de vapor 80 compuesta por la fracción de vapor 78. Una corriente de drenaje 82 que se hace pasar a través de una válvula 84 puede, opcionalmente, ser recogida como producto líquido (o dirigida como un vaporizador de drenaje contaminante). Alternativamente, una porción de la corriente 68 puede ser extraída como producto líquido y enviada a un almacenamiento adecuado.

Ha de apreciarse que la corriente del líquido rico en oxígeno residual 68 puede ser presurizada como resultado de que la columna de destilación auxiliar 34 está situada a una cierta altura por encima de la columna de destilación principal 18. Esto tiene como resultado un producto de oxígeno presurizado. Aún otra alternativa adicional consiste en presurizar la corriente del líquido rico en oxígeno residual por medio de una bomba mecánica, o en utilizar la bomba en asociación con la cabecera de líquido que se produce situando la columna de destilación auxiliar 34 por encima de la columna de destilación principal 18.

Como se ilustra, el condensador 14 actúa como termosifón. Como medios alternativos para formar el producto de oxígeno, cabe la posibilidad de que la vasija de separación 70 pueda haberse construido para alojar el condensador 14. En tal caso, la corriente de dos fases saldrá del condensador para pasar al interior de la vasija de separación 70. Sin embargo, se cree que la realización ilustrada es más efectiva en cuanto a costes con respecto a tal disposición. Adicionalmente, si se hubiera de tomar más de aproximadamente el 20 por ciento del producto de oxígeno como producto líquido por medio de la corriente de drenaje 82, entonces sería posible reconfigurar el condensador 14 como intercambiador de calor de un solo paso, con un potencial ahorro adicional en el consumo de energía. En tal realización, la corriente del líquido rico en oxígeno residual 68 será conducida directamente al condensador 14. El producto parcialmente evaporado será entonces separado en una vasija de separación de fases y no habrá ninguna corriente de retorno, tal como la corriente de líquido enriquecido en oxígeno que se introduce en el condensador 14.

Haciendo referencia a la Figura 2, se ilustra en ella una realización alternativa en forma de planta 2 de separación de aire. Ha de apreciarse que, en el caso de que los elementos ilustrados en la Figura 2 tengan la misma descripción

que en la anterior explicación con respecto a la Figura 1, tales elementos mostrados en la Figura 2 emplearán los mismos números de referencia que los de la Figura 1 y, en aras de la brevedad, no se explicarán adicionalmente. La planta 2 de separación de aire se ha diseñado específicamente para permitir que se recupere como producto una mayor fracción del nitrógeno contenido en el aire. Esto se consigue a través de un incremento en el reflujo de nitrógeno líquido hacia la columna de destilación principal 18.

En la planta 2 de separación de aire, la corriente de aire comprimido y purificado 10, tras haber sido enfriada dentro del intercambiador de calor principal 12 e introducida en la columna de destilación principal 20 y rectificada para producir una parte superior 23 de columna de vapor rico en nitrógeno y una parte inferior 26' de columna de oxígeno líquido en bruto. Puede subenfriarse, opcionalmente, una corriente de oxígeno líquido en bruto 28' en una unidad de subenfriamiento 30', y someterse a burbujeo dentro de una columna de destilación auxiliar 34 después de haber sido despresurizada dentro de la válvula de expansión 32. Una primera corriente de vapor rico en nitrógeno 46 se condensa en el intercambiador de calor de un solo paso 48 para producir una primera corriente de nitrógeno líquido 50 y un líquido rico en oxígeno residual 56, de la manera descrita con respecto a la planta 1 de separación de aire. La corriente resultante del líquido rico en oxígeno residual 68 producida en la columna de destilación auxiliar 34 es introducida en un reevaporador de termosifón 86 tras haber sido despresurizada en una válvula de expansión 90. La corriente 68 del líquido rico en oxígeno residual es parcialmente evaporada a través de un intercambio de calor indirecto con la corriente gaseosa 92, que puede estar compuesta por la columna de vapor rico en nitrógeno de parte superior 23 de la columna de destilación principal 18. La corriente gaseosa 92 pasa al interior de un núcleo 94 situado dentro de una carcasa 96 del reevaporador de termosifón 86 para llevar a efecto el intercambio de calor. La corriente gaseosa 92 se condensa para producir una corriente de condensado 98 que es introducida en la columna de destilación principal 18 como parte del reflujo a dicha columna. Toda la corriente de nitrógeno líquido 50 producida en el intercambiador de calor de un solo paso 48 es introducida en la columna de destilación principal 18 como alimentación en reflujo de la columna. Esta condensación en etapas de la columna de vapor rico en nitrógeno de la parte superior aumentará el reflujo de nitrógeno líquido y, por lo tanto, procurará la capacidad incrementada de la planta 2 de separación de aire para producir el producto de nitrógeno.

Como puede apreciarse, pueden emplearse otros medios en lugar del reevaporador de termosifón 86, incluyendo un intercambiador de calor de un solo paso si la corriente de drenaje 106 fuese de un flujo suficiente. Por otra parte, aunque no se ilustra, en lugar del vapor rico en nitrógeno, puede introducirse una corriente que tiene una concentración de nitrógeno no menor que la del aire en el núcleo 94 del reevaporador de termosifón 86. Por ejemplo, es posible comprimir una corriente de aire y licuar dicha corriente dentro del intercambiador de calor principal 12. Tras ello, puede ser introducida en una posición intermedia de la columna de destilación principal 18. Puede entonces hacerse pasar una corriente gaseosa que tiene aproximadamente la misma composición que dicha corriente líquida, al interior del núcleo 94 del reevaporador de termosifón 86, y condensarse. La corriente de condensado resultante se introducirá en una posición de la columna de destilación principal en la que la composición del líquido de columna descendente es la misma o casi la misma que la de tal condensado, o bien se introducirá en la columna de destilación auxiliar 34 para el burbujeo y la producción del producto de oxígeno concurrente.

La evaporación parcial de la corriente del líquido rico en oxígeno residual 68 crea fracciones de vapor y líquida que se recogen en la carcasa como una fracción de vapor 100 y una fase líquida 102. Una corriente de fase de vapor 104, compuesta por la fracción de vapor 100, se hace pasar en intercambio de calor indirecto con la corriente de aire comprimido y purificado entrante 10, dentro del intercambiador de calor principal 12, para calentar la corriente de fase de vapor 100 al objeto de producir el producto de oxígeno ("O₂") y ayudar a enfriar la corriente de aire comprimido y purificado 10. Una corriente de drenaje 106, compuesta por la fase líquida 102, puede ser despresurizada en una válvula 108 y recogida como producto de oxígeno líquido. En tal realización, opcionalmente, la corriente de desecho 62 puede hacerse pasar en intercambio de calor indirecto con la corriente de oxígeno líquido en bruto 28', dentro del intercambiador de calor de subenfriamiento 30'. La corriente de desecho 62 se hace también pasar, de forma subsiguiente, en intercambio de calor indirecto con la corriente de aire comprimido y purificado 10, dentro del intercambiador de calor principal 12, para calentar la corriente de desecho 62 y ayudar a enfriar la corriente de aire comprimido y purificado 10. La corriente de desecho 62 puede ser reciclada de vuelta al seno del aire entrante. Esto puede llevarse a cabo tras el calentamiento en el intercambiador 12, por mezcla directa con aire de alimentación o tras una compresión adicional. Como en la planta 1 de separación de aire, la corriente de producto de nitrógeno 64, compuesta por la parte superior 23 de columna de vapor rico en nitrógeno, es calentada dentro del intercambiador de calor principal 12 por medio de intercambio de calor indirecto con la corriente de aire entrante comprimido y purificado 10, para ayudar también a enfriar la misma.

Haciendo referencia tanto a la Figura 1 como a la Figura 2, se imparte refrigeración a una de la planta 1 de separación de aire o la planta 2 de separación de aire por medio de una corriente de nitrógeno líquido 110 que se hace pasar a través de una válvula de control de flujo 112 y, a continuación, se introduce en una entrada superior 114 situada en la parte superior de la columna de destilación principal 18. Dicha corriente puede ser obtenida de un tanque de almacenamiento sobre el terreno y puede ser de alta o de baja presión. La adición de tal corriente compensa las fugas de calor ambientales así como las pérdidas en el extremo caliente en las que se incurre con el funcionamiento del intercambiador de calor principal 12. Ha de apreciarse que la corriente líquida 110 puede ser introducida directamente en una de las corrientes de vapor que entran en los intercambiadores de calor 30' o 12. Como puede apreciarse, una porción del aire entrante puede ser expandida antes de su introducción en la columna

de destilación principal 18. A este respecto, una porción de la corriente de aire comprimido y purificado, tras su enfriamiento parcial dentro del intercambiador de calor principal 12, puede ser expandida y, a continuación, mezclada con la corriente de gas de desecho 62. Otra posibilidad es retopresurizar el sistema de columnas de destilación de la columna de destilación principal 18 y la columna de destilación auxiliar 34, y la corriente de desecho 62 puede ser parcialmente calentada dentro del intercambiador de calor principal 12, expandida en un turboexpansor y calentada adicionalmente dentro del intercambiador de calor principal 12. El uso de un turboexpansor puede permitir la posibilidad de tomar un producto líquido del sistema de columnas. Una porción del nitrógeno líquido obtenida de los condensadores 48 o 96 puede ser enviada a un almacenamiento adecuado. Aún otra alternativa adicional es que una corriente de oxígeno líquido puede ser introducida en, o combinada con, la corriente del líquido rico en oxígeno residual 68 y, a continuación, introducida en la carcasa 96 del reevaporador de termosifón 86.

Con referencia a la Figura 3, se ilustra en ella una planta 1' de separación de aire que constituye una realización alternativa a la planta 1 de separación de aire mostrada en la Figura 1. En una planta 1 de separación de aire, se muestra una columna auxiliar 34' que se proporciona con una sección de burbujeo 36a que puede haberse provisto de unos elementos de contacto con transferencia de masa 36, tal y como se ha explicado anteriormente con respecto a la Figura 1. La corriente de oxígeno líquido en bruto 28 es sometida a burbujeo dentro de dicha sección de burbujeo 36a como se ha descrito anteriormente, y, en lugar de producir directamente una cabecera o parte superior de columna auxiliar, produce un vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno. La columna auxiliar 34a también está provista de una sección de rectificación 36b situada por encima de la sección de burbujeo 36a, a fin de rectificar dicho vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno y recuperar, con ello, algo del oxígeno que, de lo contrario, se habría ventado desde la planta en la corriente de desecho 62. La sección de rectificación es alimentada en reflujo por la corriente de nitrógeno líquido 60' que se introduce en la parte superior de la columna auxiliar 34' tras haber sido despresurizada por una válvula 63'. Como puede apreciarse, la misma modificación puede hacerse en la planta mostrada en la Figura 2. En tal caso, la columna auxiliar será modificada de la misma manera que se ha mostrado en la Figura 3. En el caso de la realización de la Figura 2, parte de la corriente condensada 98 será utilizada para alimentar en reflujo la columna auxiliar 34'.

Como puede apreciarse, todo lo que se ha contemplado es recuperar algo del oxígeno que de otro modo se perdería en el desecho, a fin de aumentar la recuperación de oxígeno. Sin embargo, debe buscarse un equilibrio entre el aumento de la recuperación de oxígeno y el hecho de que se está tomando nitrógeno líquido del nitrógeno líquido que, de otro modo, se habría utilizado para alimentar como reflujo la columna de destilación principal, y, por tanto, la producción de nitrógeno. Toda rectificación más grande estará acompañada de un incremento en el flujo de la corriente de nitrógeno líquido 60' y, por tanto, de una reducción del nitrógeno de producto disponible 64, ya que el caudal de reflujo de la columna principal debe ser mantenido al objeto de que mantener la pureza del nitrógeno de producto. Una manera más concreta de establecer tal limitación es que el comportamiento de la sección de rectificación 36b, cuando se toma en conexión con el de la sección de burbujeo 36a, debe ser tal, que la parte superior o cabecera 38 de columna auxiliar, dentro de la columna auxiliar 36, debe contener no menos del 5,0 por ciento de oxígeno en volumen. Para conseguir esto, por lo común, la relación entre el caudal de flujo de la corriente de nitrógeno líquido 60' y el flujo de nitrógeno disponible total desde la columna 18 (la suma de las corrientes 60 y 64) deberá encontrarse entre 0,1 y 0,4, y la relación entre líquido y vapor en la sección de rectificación 36b, de entre 0,23 o menos.

REIVINDICACIONES

1.- Un método para separar aire con el fin de producir productos concurrentes de oxígeno y nitrógeno, de tal manera que dicho método comprende:

enfriar una corriente comprimida y purificada (10) que comprende el aire;

5 condensar parcialmente la corriente comprimida y purificada en un condensador (14) situado en una región inferior (16) de una columna de destilación principal (18);

10 rectificar la fracción de vapor (22) de la corriente comprimida y purificada, parcialmente condensada, dentro de la columna de destilación principal (18) para producir una columna de vapor rico en nitrógeno de parte superior (23), y de tal manera que el aire condensado se mezcla con el líquido descendente producido por la rectificación dentro de la columna de destilación principal, a fin de producir con ello una parte inferior de columna de oxígeno líquido en bruto (26) dentro de la columna de destilación principal (18);

15 producir un líquido rico en oxígeno (40) y una parte superior (38) de columna auxiliar que contiene no menos del 5,0 por ciento de oxígeno en volumen, dentro de una columna de destilación auxiliar (34), al despresurizar, al menos en parte, de una corriente de oxígeno líquido en bruto (28) compuesta por la parte inferior de columna de oxígeno líquido en bruto (26), someter a burbujeo la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) dentro de la columna de destilación auxiliar (34), con un gas de burbujeo ascendente (52), y evaporar parcialmente el líquido rico en oxígeno (44) por medio del intercambio de calor indirecto con una corriente de vapor rico en nitrógeno (46) compuesta por la parte superior (23) de columna de vapor rico en nitrógeno, por lo que se produce una corriente de nitrógeno líquido (50), el gas de burbujeo (52) y un líquido rico en oxígeno residual (56);

20 recoger el líquido rico en oxígeno (40) dentro de la columna de destilación auxiliar (34);

evaporar parcialmente el líquido rico en oxígeno (40) al hacer pasar una corriente de líquido rico en oxígeno, compuesta por el líquido rico en oxígeno (40), y la corriente de vapor rico en nitrógeno (46) a través de un intercambiador de calor de un solo paso (48) para formar el gas de burbujeo (52) y el líquido rico en oxígeno residual (56) que se recoge como parte inferior de columna perteneciente a la columna de destilación auxiliar (34);

25 alimentar en reflujo la columna de destilación principal (18) con al menos parte (58) de la corriente de nitrógeno líquido (50);

30 formar una fracción de vapor rico en oxígeno (78) a partir del líquido rico en oxígeno residual (56) mediante el intercambio de calor indirecto entre una corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual (56) y una corriente gaseosa (76) que tiene una concentración de nitrógeno no menor que la del aire, a fin de que la corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual (56) se evapore parcialmente, de tal manera que la corriente gaseosa (76) es la corriente comprimida y purificada (10);

formar una corriente de producto de oxígeno (80) a partir de la fracción de vapor (78); una corriente de producto de nitrógeno (64) a partir de la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno (23), y una corriente de desecho (62) a partir de la parte superior (38) de columna auxiliar; y

35 hacer pasar la corriente de producto de oxígeno (80), la corriente de producto de nitrógeno (64) y la corriente de desecho (62) en intercambio de calor indirecto con la corriente comprimida y purificada (10);

de tal manera que la fracción de vapor rico en oxígeno (78) se forma al:

recoger la corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual (56) dentro de una vasija de separación (70);

40 introducir una corriente de fase líquida (72), formada por una fase líquida producida dentro de la vasija de separación (70), dentro del condensador (14) y evaporar parcialmente la corriente de fase líquida (72) dentro del condensador (14), por medio de un intercambio de calor indirecto con la corriente comprimida y purificada (10), por lo que se produce una corriente de dos fases (76) a partir de la corriente de fase líquida (72);

45 introducir la corriente de dos fases (76) dentro de la vasija de separación (70) y separar las fases líquida y de vapor de la corriente de dos fases (76) dentro de la vasija de separación (70) para formar una fracción de vapor rico en oxígeno (78) y la fase líquida (74) junto con la corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual recogida en la vasija de separación (70); y

la corriente de producto de oxígeno (80) se forma descargando una corriente de la fracción de vapor rica en oxígeno (78) de la vasija de separación (70).

50 2.- El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la parte superior (38) de columna auxiliar se produce únicamente por el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) dentro de una columna de destilación auxiliar (34).

3.- El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual:

la columna de destilación principal (18) es alimentada en reflujo con parte (58) de la corriente de nitrógeno líquido (50);

5 el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) tiene lugar dentro de una sección de burbujeo (36a) de una columna de destilación auxiliar (34');

el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) dentro de la columna de destilación auxiliar (34') produce una corriente de vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno; y

10 la corriente de vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno es rectificada dentro de la columna de destilación auxiliar, en el interior de una sección de rectificación (36b) de la columna de destilación auxiliar (34'), situada por encima de la sección de burbujeo (36a), mediante la introducción de la corriente de vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno en la sección de rectificación (36b) y la alimentación en reflujo de la columna de destilación auxiliar (34'), y, por tanto, de la sección de rectificación, con una parte adicional de la corriente de nitrógeno líquido (50), por lo que se incrementa la recuperación de oxígeno en el seno del líquido rico en oxígeno residual (56).

4.- El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual:

15 la columna de destilación principal (18) es alimentada en reflujo con una parte (58) de la corriente de nitrógeno líquido (50); y

la corriente de desecho (62) intercambia calor indirectamente con la corriente de oxígeno líquido en bruto (28), de tal manera que la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) es subenfriada antes de ser presurizada.

20 5.- El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual (56) es presurizada, de tal manera que la corriente de producto de oxígeno (80) es también presurizada.

6.- El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual se introduce una corriente de refrigeración de nitrógeno líquido (110) en la columna de destilación principal (18) para impartir refrigeración.

7.- Un aparato para separar aire a fin de producir productos concurrentes de oxígeno y nitrógeno, de manera que dicho aparato comprende:

25 un intercambiador de calor principal (12), configurado para enfriar una corriente comprimida y purificada (10) que comprende el aire;

un condensador (14), situado en una región inferior (16) de una columna de destilación principal (18), y configurado para condensar parcialmente la corriente comprimida y purificada (10);

30 de tal modo que la columna de destilación principal (18) está configurada para rectificar la fracción de vapor (22) de la corriente comprimida y purificada, parcialmente condensada, a fin de producir una parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno (23), y de manera que el aire condensado se mezcla con el líquido descendente producido por la rectificación en la columna de destilación principal (18), a fin de producir con ello una parte inferior de columna de oxígeno líquido en bruto (26);

35 una columna de destilación auxiliar (34), conectada a la columna de destilación principal (18) y configurada de tal modo que se somete a burbujeo una corriente de oxígeno líquido en bruto (28), compuesta por la parte inferior de columna de oxígeno líquido en bruto (26), con un gas de burbujeo ascendente (52) situado dentro de la columna de destilación auxiliar (34), y se producen un líquido rico en oxígeno (40) y una parte superior (38) de columna auxiliar que contienen no menos del 5,0 por ciento de oxígeno en volumen, al menos en parte como resultado del burbujeo de la columna de oxígeno líquido en bruto (28), teniendo la columna de destilación auxiliar (34) medios para recoger el líquido rico en oxígeno;

una válvula de expansión (32), situada entre la columna de destilación principal (18) y la columna de destilación auxiliar (34), de tal manera que la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) es despresurizada antes de su introducción en la columna de destilación auxiliar;

45 medios (48) para evaporar parcialmente el líquido rico en oxígeno (44) mediante un intercambio de calor indirecto con una corriente de vapor rico en nitrógeno, compuesta por la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno (23), por lo que se produce una corriente de nitrógeno líquido (50), el gas de burbujeo (52) y un líquido rico en oxígeno residual (56);

50 de tal manera que los medios de evaporación parcial (48) del líquido rico en oxígeno consisten en un intercambiador de calor de un solo paso, conectado a una columna de destilación auxiliar (34) y a los medios de recogida del líquido rico en oxígeno, de tal modo que el líquido rico en oxígeno (40) es parcialmente evaporado dentro del intercambiador de calor de un solo paso (48) mediante el paso de una corriente de líquido rico en oxígeno, compuesta por el líquido rico en oxígeno (40), y el líquido rico en oxígeno residual (56) se recoge como parte inferior

de columna de la columna de destilación auxiliar (34); y

la columna de destilación principal (18) está conectada al intercambiador de calor de un solo paso (48), de tal manera que la corriente de vapor rico en nitrógeno (46) se condensa dentro del intercambiador de calor de un solo paso (48) y de forma que la columna de destilación principal es alimentada en reflujo con al menos una parte (58) de la corriente de nitrógeno líquido (50);

el intercambiador de calor principal (12) está conectado a la columna de destilación principal (18) y a la columna de destilación auxiliar (34) de tal manera que una corriente de producto de nitrógeno (64), compuesta por la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno (23), y una corriente de desecho (62) formada a partir de la parte superior (38) de columna auxiliar, perteneciente a la columna de destilación auxiliar (34), intercambian calor indirectamente con la corriente de aire comprimido y purificado (10);

medios (70) para intercambiar calor indirectamente entre una corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual (56) y una corriente gaseosa (76, 92) que tiene una concentración de nitrógeno no menor que la del aire, de tal manera que la corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual (56) se evapora parcialmente, y medios para formar una fracción de vapor rico en oxígeno (78) a partir de la corriente del líquido rico en oxígeno residual, tras haber sido evaporada parcialmente, de tal modo que la corriente gaseosa (76) es la corriente de aire comprimido y purificado (10); en el cual:

los medios de intercambio de calor con el líquido rico en oxígeno residual son el condensador (14), y los medios de formación de la fracción de vapor rica en oxígeno son una vasija de separación (70);

la vasija de separación (70) está conectada a la columna de destilación auxiliar (34) de tal manera que la corriente (68) del líquido rico en oxígeno residual (56) se recoge en la vasija de separación (70);

la vasija de separación (70) está conectada al condensador (14) de tal manera que una corriente de fase líquida (72), compuesta por una fase líquida producida dentro de la vasija de separación, es evaporada parcialmente en el condensador (14) para producir una corriente de dos fases (76) que es introducida en la vasija de separación (70), de tal manera que las fases líquida y de vapor de la corriente de dos fases son descargadas dentro de la vasija de separación para formar la fracción de vapor rico en oxígeno (78) y la fase líquida (74);

el intercambiador de calor principal (12) está conectado a la vasija de separación (70) de tal modo que la corriente de producto de oxígeno (80) se forma a partir de la fracción de vapor rico en oxígeno (78); y

el intercambiador de calor principal (12) está conectado a los medios (70) de formación de la fracción de vapor rico en oxígeno, a la columna de destilación principal (18) y a la columna de destilación auxiliar (34), de tal manera que una corriente de producto de oxígeno (80), compuesta por la fracción de vapor rico en oxígeno (78), una corriente de producto de nitrógeno (64), compuesta por la parte superior de columna de vapor rico en nitrógeno (23), y una corriente de desecho (62), compuesta por la parte superior (38) de columna auxiliar, perteneciente a la columna de destilación auxiliar (34), pasan por el interior del intercambiador de calor principal (12), en intercambio de calor indirecto con la corriente comprimida y purificada (10).

8.- El aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual la columna auxiliar (34') está únicamente provista de una sección de burbujeo (36a) en la que tiene lugar el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto (28).

9.- El aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual:

la columna auxiliar (34') tiene una sección de burbujeo (36a) y una sección de rectificación (36b), situada por encima de la sección de burbujeo (36a);

el burbujeo de la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) tiene lugar dentro de la sección de burbujeo (36a) de la columna de destilación auxiliar (34'), y se produce en la sección de burbujeo (36a) una corriente de vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno, que entra en la sección de rectificación (36b) para la rectificación de la corriente de vapor con contenido de nitrógeno y oxígeno, con lo que se incrementa la recuperación de oxígeno en el seno del líquido rico en oxígeno residual (28);

los medios de vaporización parcial (48) del líquido rico en oxígeno están conectados a la columna de destilación principal (18) de tal manera que la columna de destilación principal es alimentada en reflujo con la parte (58) de la corriente de nitrógeno líquido (50), y también están conectados a la columna de destilación auxiliar (34') de tal modo que la columna de destilación auxiliar y, por tanto, la sección de rectificación (36b) son alimentadas en reflujo con una parte adicional (60') de la corriente de nitrógeno líquido (50); y

existe otra válvula de expansión (63'), situada entre los medios de evaporación parcial (48) del líquido rico en oxígeno y la columna de destilación auxiliar (34'), de tal modo que la presión de la parte adicional (60') de la corriente de nitrógeno líquido (50) se reduce hasta la de la columna de destilación auxiliar (34').

10.- El aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual:

el intercambiador de calor de un solo paso (48) está conectado a la columna de destilación principal (18) de tal manera que la columna de destilación principal es alimentada en reflujo con la parte (58) de la corriente de nitrógeno líquido (50); y

5 existe un intercambiador de calor de subenfriamiento (30), conectado al intercambiador de calor de un solo paso (48), a la columna de destilación auxiliar (34) y a la válvula de expansión (32) de tal manera que la corriente de desecho (62) intercambia indirectamente calor con la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) dentro del intercambiador de calor de subenfriamiento (30), y la corriente de oxígeno líquido en bruto (28) es subenfriada antes de su paso a través de la válvula de expansión (32).

10 11.- El aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual la columna de destilación principal (18) tiene una entrada superior (114) para la introducción de una corriente de refrigeración de nitrógeno líquido (110) destinada a impartir refrigeración.

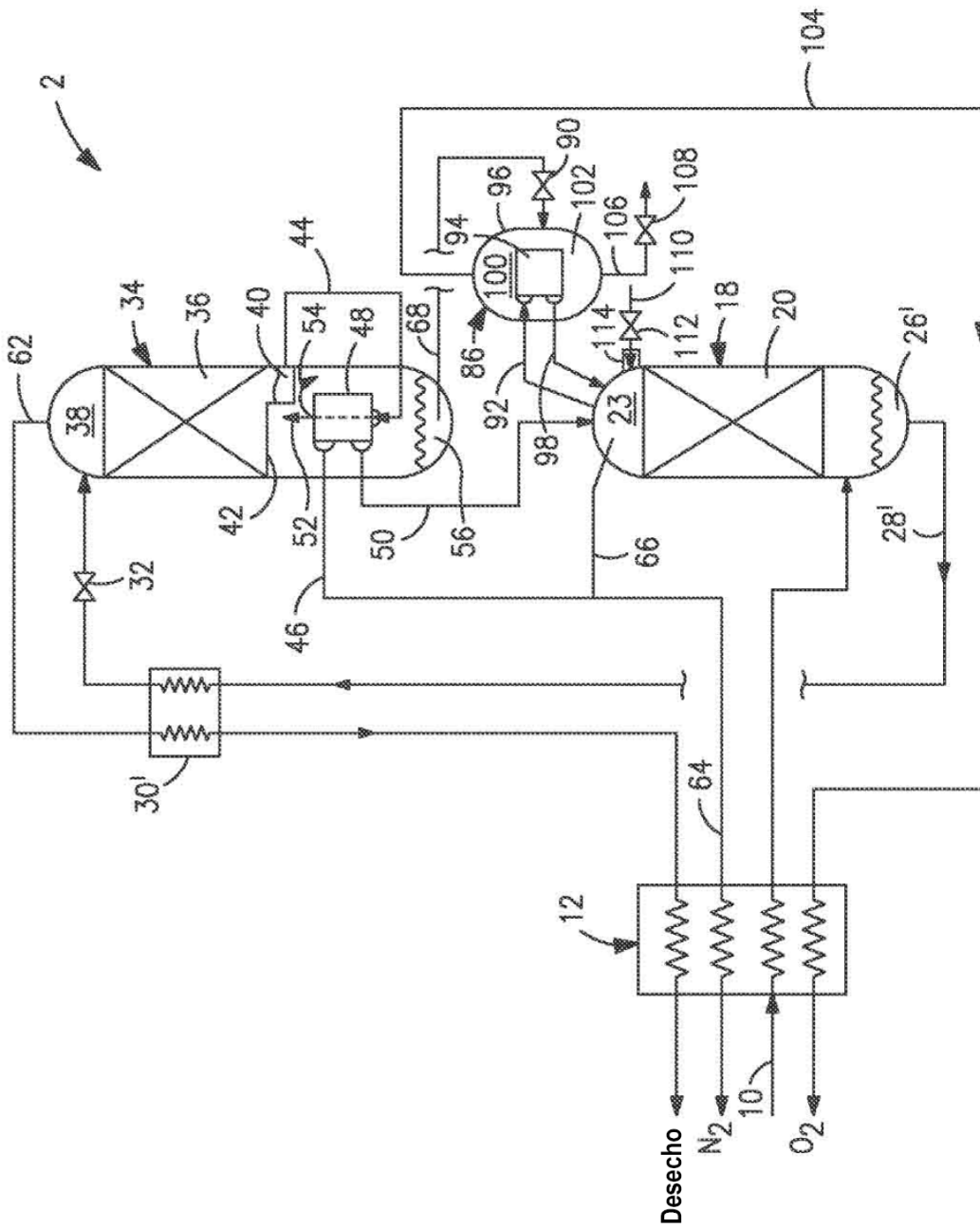


FIG. 2

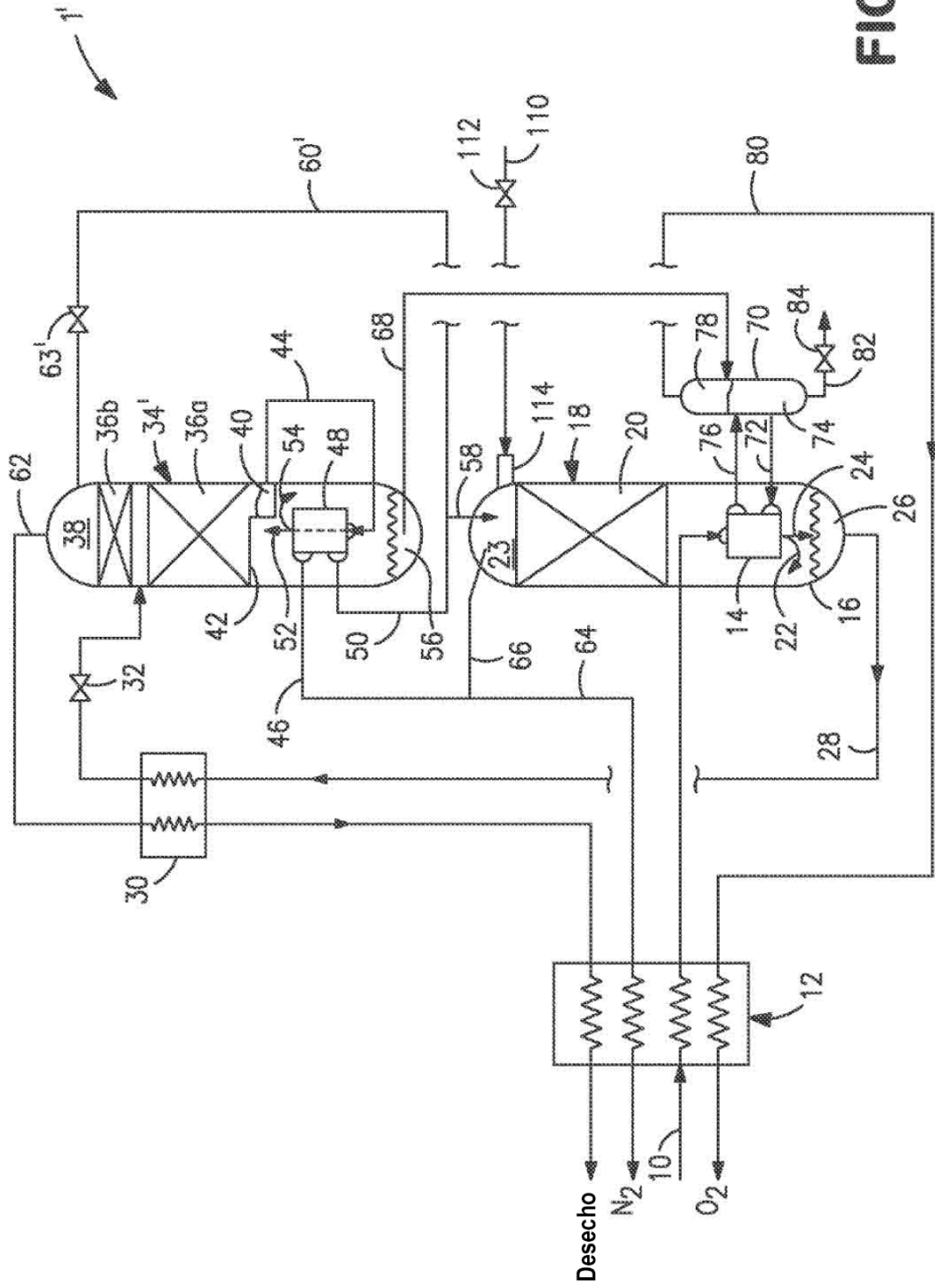


FIG. 3