

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 883**

51 Int. Cl.:

F25J 3/02 (2006.01)

F25J 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2007** **E 07865271 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.04.2016** **EP 2100083**

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

30 Prioridad:

06.12.2006 US 634623

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

02.06.2016

73 Titular/es:

PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 OLD RIDGEBURY ROAD
DANBURY, CT 06810-5113, US

72 Inventor/es:

HOWARD, HENRY EDWARD y
JIBB, RICHARD JOHN

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 572 883 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

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método para separar una mezcla gaseosa en una planta de rectificación criogénica en la que la temperatura de una corriente comprimida de la mezcla gaseosa alimentada a un turboexpansor y usada para suministrar refrigeración a la planta se controla separando dos corrientes de la corriente comprimida desde el intercambiador de calor principal de la planta, controlando los caudales de las dos corrientes y a continuación combinando las dos corrientes antes de su introducción en el turboexpansor.

Antecedentes de la invención

10 Desde hace mucho tiempo se sabe cómo separar una variedad of mezclas gaseosas por rectificación criogénica, por ejemplo aire y gas natural pretratados. En tales procedimientos, la mezcla gaseosa a separar se presuriza, se purifica y a continuación se enfría a una temperatura adecuada para su rectificación. La rectificación de la mezcla gaseosa se produce en una o más columnas de destilación. Cada una de las columnas tiene elementos de transferencia de materia tales como bandejas o un empaquetamiento, por ejemplo, un empaquetamiento
15 estructurado, los cuales ponen en contacto entre sí a las fases líquida y de vapor de la mezcla gaseosa y efectúan la transferencia de materia entre las fases líquida y de vapor.

De este modo, la alimentación entrante es destilada dentro de la columna o de las columnas de destilación para formar corrientes de componentes enriquecidas en los componentes de la mezcla gaseosa. Las corrientes de componentes pueden extraerse como productos líquidos o gaseosos y se usan en la refrigeración de la mezcla
20 gaseosa después de ser comprimidas y purificadas a una temperatura adecuada para la separación de la mezcla gaseosa dentro de la columna o columnas de destilación. La refrigeración se produce por medio de un intercambio de calor indirecto que se lleva a cabo en un intercambiador de calor principal de la planta.

Con el fin de minimizar las pérdidas finales de calor en el intercambiador de calor principal y de producir productos líquidos, la refrigeración puede generarse expandiendo una corriente comprimida constituida por la mezcla gaseosa
25 e introduciendo la corriente comprimida en al menos una de las columnas de una planta.

También se sabe bombear mecánicamente un producto líquido, por ejemplo en la separación del aire puede vaporizarse una corriente líquida enriquecida en oxígeno de cola de una columna dentro del mismo intercambiador de calor principal frente a una corriente de aire comprimido licuante proporcionada para tal fin.

30 Dado que los costes de suministro de energía de la energía eléctrica consumida en la compresión de la alimentación pueden variar con el tiempo o día, hay un incentivo cada vez mayor para ser capaces de manipular la programación de productos en plantas y, en particular, las tasas de producción de líquidos. Por ejemplo, las plantas de oxígeno de alta pureza con frecuencia se diseñan para producir en cualquier sitio hasta aproximadamente 10 por ciento del aire como un producto licuado. Existe la necesidad de manipular el flujo de productos para que a veces se use menos de la capacidad máxima de la planta, por ejemplo, operaciones de la planta en las que menos que 10 por ciento del aire
35 se extrae como el producto líquido. Con el fin de cambiar las tasas de producción de líquido, la práctica convencional es ajustar el flujo de la turbina empleada para generar la refrigeración. Un ejemplo de esto puede encontrarse en la Patente de EE.UU. No. 5.412.953. En esta patente, se describe una planta de oxígeno líquido bombeado en la cual el producto líquido fabricado se ajusta ajustando el flujo del turboexpansor. Este ajuste de flujo se efectúa reciclando aire desde el fondo de la columna de mayor presión a un compresor que se usa para comprimir el aire para el turboexpansor. Tal operación puede dar lugar a amplias oscilaciones en los requisitos de compresión del aire que se requieren para fines tales como vaporizar líquidos presurizados en la columna.
40

Otra posibilidad para controlar la producción de líquido es variar la relación de expansión del expansor de la turbina aumentando o disminuyendo la presión de la mezcla comprimida que se introduce en el turboexpansor. Esto también puede dar lugar a problemas de control porque cuando se aumenta la presión, la mezcla a expandir puede
45 licuarse en el escape de la turbina. Un caso extremo es en el que entre aproximadamente 10 y aproximadamente 15 por ciento de la alimentación de proceso comprimida se tiene que licuar. En tales situaciones, la eficiencia de la turbina puede ser mala y la turbina puede incurrir en daño potencial. En el otro extremo, cuando se disminuye la presión, la temperatura de la corriente expandida aumenta cuando la temperatura de entrada a la turbina está relativamente fijada por el diseño del intercambiador de calor principal. Cuando tal aumento está por encima de la
50 temperatura de saturación de la alimentación expandida a una columna, los líquidos dentro de la columna pueden vaporizarse dando lugar a altos flujos locales de vapor, pérdida de la eficacia de la separación y potencial inundación de la columna.

En la técnica anterior se sabe controlar la temperatura de entrada al turboexpansor de una planta de separación de aire con el fin de impedir la licuación en el escape del turboexpansor. Por ejemplo, en la Patente de EE.UU. No. 3.355.901, se usa un sistema de control en cascada para asegurar que el escape de un turboexpansor usado para
55 suministrar refrigeración a una planta de separación de aire está a aproximadamente la temperatura de saturación o ligeramente sobrecalentado. En esta patente, el vapor caliente se divide en dos corrientes. Una corriente se enfría

dentro de un intercambiador de calor frente a un gas criogénico producido en el proceso de separación del aire y la otra corriente circunvala el intercambiador de calor. Las corrientes se combinan a continuación y se introducen por la entrada de un turboexpansor. Se detecta la temperatura del escape de la turbina y se alimenta una señal referible a dicha temperatura como una entrada al sistema de control en cascada para controlar una válvula que a su vez controla el flujo de la corriente que se enfría dentro del intercambiador de calor. Sin embargo, se ha de advertir que tal disposición es para usar en una planta que no manipule la relación de expansión y como tal la variación de la temperatura del escape de la turbina está limitada. No podría usarse en una planta en la que la presión y la relación de expansión varíen sustancialmente.

Un método que se define en la porción precharacterizante de la reivindicación 1 se describe en el documento US-A-4704148 el cual además describe la combinación de la primera corriente subsidiaria y parte de la segunda corriente subsidiaria después de la retirada del intercambio de calor indirecto para producir una corriente combinada, expansión de al menos parte de la corriente combinada con un expansor para suministrar refrigeración a la planta de rectificación criogénica, e introducir al menos parte de una corriente de escape del expansor en la unidad de separación.

Como se describirá, la presente invención proporciona un método para separar una mezcla gaseosa en la cual la refrigeración y por lo tanto la producción de líquido se varía por manipulación simultánea de la relación de expansión en la turbina y de las temperaturas de entrada. La manipulación simultánea de la temperatura del turboexpansor de entrada permite una mayor flexibilidad de producción de líquido que la que por lo demás existiría mediante la manipulación de la relación de expansión en la turbina sola.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona un método de separación en el cual una mezcla gaseosa comprimida se separa dentro de una planta de rectificación criogénica purificando la mezcla gaseosa comprimida, refrigerando la mezcla gaseosa por intercambio de calor indirecto con corrientes de mezclas de componentes después de que haya sido comprimida y purificada y a continuación rectificando la mezcla gaseosa dentro de una unidad de separación. La unidad de separación tiene al menos una columna de destilación para producir las corrientes de mezclas de componentes.

De la unidad de separación se descarga una corriente líquida que está enriquecida en un componente de la mezcla gaseosa. Al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida se enfría parcialmente durante el intercambio de calor indirecto y a continuación se divide en una primera corriente subsidiaria y una la segunda corriente subsidiaria. La primera corriente subsidiaria sale del intercambio de calor indirecto a una mayor temperatura. La segunda corriente subsidiaria se enfría además durante el intercambio de calor indirecto y sale del intercambio de calor indirecto a una menor temperatura. La primera corriente subsidiaria y la segunda corriente subsidiaria después de la extracción del intercambio de calor indirecto se combinan a continuación para producir una corriente combinada. Al menos parte de la corriente combinada se expande con la realización de trabajo dentro de un turboexpansor para suministrar refrigeración a la planta de rectificación criogénica. Al menos parte de una corriente de escape del turboexpansor se introduce en la unidad de separación. La temperatura de la corriente combinada se controla tal que la corriente de escape está al menos a su temperatura de saturación controlando los caudales de la primera corriente subsidiaria y la segunda corriente subsidiaria. Aquí es importante advertir que cuando se usa en la presente memoria y en las reivindicaciones, el "control del caudal" no quiere decir que los caudales de la primera corriente subsidiaria y de la segunda corriente subsidiaria necesariamente se controlan independientemente. En los diseños de plantas en los cuales toda la corriente combinada se dirige a un turboexpansor, el control activo del caudal de una de tales corrientes controlará los de las otras corrientes. En los diseños de plantas en los cuales no toda la corriente combinada se envía al turboexpansor, el caudal de tales corrientes podría ser controlado independientemente.

El control de la temperatura de la corriente combinada es ventajoso en cualquier tipo de planta de separación criogénica y en tales plantas en las que se va a vaporizar un producto líquido. La presente invención, en su aspecto más básico tiene una mayor aplicabilidad porque algunas veces tales plantas de separación criogénica requieren un ajuste fino debido a impactos medioambientales y operaciones imprevistas. Por ejemplo, si el flujo al turboexpansor está más caliente que el esperado, la temperatura de escape puede ser mayor que la esperada de modo que provoque la vaporización imprevista y excesiva de líquidos dentro de la columna de destilación. Dicho esto, la presente invención tiene una aplicabilidad particular cuando la presión de la al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida es variada para a su vez variar la refrigeración suministrada por el turboexpansor y la tasa de producción de las corrientes líquidas. En tales casos, el aumento de la presión de entrada a la turboexpansión aumentando la presión de la al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida aumenta la producción de líquido. La disminución de la presión de la al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida disminuye la producción de líquido. Durante la producción elevada de líquido, los caudales de la primera corriente subsidiaria y de la segunda corriente subsidiaria se controlan tal que el caudal de la primera corriente subsidiaria es mayor que el de la segunda corriente subsidiaria. Durante el modo de producción de líquido bajo los caudales de la primera corriente subsidiaria y de la segunda corriente subsidiaria se controlan tal que el caudal de la primera corriente subsidiaria es menor que el de la segunda corriente subsidiaria.

La presente invención tiene aplicabilidad particular para la separación de aire. En este contexto, la mezcla gaseosa comprimida puede estar compuesta de aire. En tal aplicación, las corrientes de mezcla de componentes son corrientes enriquecidas en oxígeno y enriquecidas en nitrógeno y la unidad de separación puede ser una unidad de separación de aire que tenga columnas de destilación a mayor y menor presión operativamente asociadas unas con otras en una relación de transferencia de calor para producir las corrientes enriquecidas en oxígeno y enriquecidas en nitrógeno. Consecuentemente, la corriente líquida está enriquecida en oxígeno o en nitrógeno.

La corriente líquida puede estar enriquecida en oxígeno y parte de la corriente líquida se bombea para producir una corriente de líquido presurizado. La corriente enriquecida en oxígeno se forma mediante la corriente de líquido presurizado y la corriente de líquido presurizado es vaporizada como resultado del intercambio de calor indirecto para producir un producto presurizado enriquecido en oxígeno. En tal caso, la mezcla gaseosa comprimida se divide en una primera corriente de aire comprimido y una segunda corriente de aire comprimido antes del intercambio de calor indirecto. La al menos parte de la mezcla gaseosa es la primera corriente de aire comprimido. La segunda corriente de aire es condensada durante el intercambio de calor indirecto por intercambio de calor indirecto con la corriente de líquido presurizado, formando de este modo una corriente de aire líquido. El aire contenido dentro de la primera corriente de aire comprimido y la segunda corriente de aire es rectificado dentro de la unidad de separación de aire.

Los caudales de la primera corriente subsidiaria y de la segunda corriente subsidiaria pueden controlarse mediante un primer y segundo par de válvulas. Cada par de válvulas contiene una válvula de control de flujo alto, a saber, una válvula que es capaz de dosificar caudales altos, y una válvula de control de flujo bajo, a saber, una válvula que es capaz de dosificar caudales muy bajos. Durante el modo de producción elevada de líquidos, los caudales de la primera corriente subsidiaria y de la segunda corriente subsidiaria son respectivamente controlados mediante la válvula de control de flujo alto del primer par de válvulas y la válvula de control de flujo bajo del segundo par de válvulas. Esto es porque el caudal de la primera corriente subsidiaria es mayor en tal caso. Como resultado, la válvula de control de flujo bajo del primer par de válvulas y la válvula de control de flujo alto del segundo par de válvulas se posicionan en posiciones cerradas. Al contrario, durante el modo de producción baja de líquido, los caudales de la primera corriente subsidiaria y de la segunda corriente subsidiaria son respectivamente controlados por la válvula de control de flujo bajo del primer par de válvulas y la válvula de control de flujo alto del segundo par de válvulas. La válvula de control de flujo alto del primer par de válvulas y la válvula de control de flujo bajo del segundo par de válvulas se posicionan en las posiciones cerradas.

La corriente de escape puede introducirse por la región del fondo de una columna a mayor presión. La corriente de aire líquido puede ser dividida en una primera y en una segunda porción y expandirse por una válvula en las columnas de mayor y menor presión, respectivamente.

Una corriente enriquecida en nitrógeno de cabeza de la columna de la columna de mayor presión puede licuarse frente a las colas de la columna que se vaporizan enriquecidas en oxígeno de la columna de menor presión. Esto produce una primera y una segunda corriente de nitrógeno de reflujo para mantener en reflujo las columnas de mayor y menor presión. La segunda de las corrientes de nitrógeno de reflujo puede subenfriarse antes de ser introducida en la columna de menor presión intercambiando calor con una corriente residual de nitrógeno vapor y una corriente producto de nitrógeno vapor que también sale de la columna de menor presión. El nitrógeno residual y el producto nitrógeno son las corrientes enriquecidas en nitrógeno que toman parte en el intercambio de calor indirecto, anteriormente mencionado.

Una corriente de oxígeno líquido bruto formada a partir de las colas de la columna que contienen oxígeno de las columnas de mayor presión puede ser expandida por una válvula e introducida en la columna de menor presión para su rectificación sin ser sometida a intercambio de calor indirecto para enfriar más la corriente de oxígeno líquido bruto antes de su expansión por la válvula.

Breve descripción de los dibujos

Aunque la memoria descriptiva concluye con reivindicaciones que distintivamente señalan la materia objeto que los solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se entenderá mejor en conexión con los dibujos que la acompañan en los cuales:

La Fig. 1 es una vista esquemática de una planta de separación de aire para llevar a cabo un método según la presente invención;

La Fig. 2 es una vista en alzado de un intercambiador de calor principal empleado en la planta de separación de aire ilustrada en la Fig. 1;

La Fig. 3 es una realización alternativa de la Fig. 2;

La Fig. 4 es una realización alternativa de la Fig. 2;

La Fig. 5 es una realización alternativa de la Fig. 2;

La Fig. 6 es una vista transversal de la Fig. 5 tomada a lo largo de la línea 6-6 de la misma; y

La Fig. 7 es una vista transversal de Fig. 5 tomada a lo largo de la línea 7-7 de la misma.

Descripción detallada

Con referencia a la Fig. 1, se ilustra una planta de separación de aire 1 a modo de ejemplo. Como se indicó anteriormente, la presente invención tiene en sus aspectos más amplios igual aplicación a otros procedimientos de separación, por ejemplo, los que implican gas natural.

La planta de separación de aire 1 incluye un sistema de compresión 10 para comprimir el aire a presiones adecuadas para su rectificación dentro de una unidad de separación de aire 12 que tiene una columna 14 a mayor presión y una columna 16 a menor presión. La rectificación del aire separa los componentes del aire en fracciones enriquecidas en oxígeno y enriquecidas en nitrógeno que salen como corrientes enriquecidas en oxígeno y enriquecidas en nitrógeno que se introducen en un intercambiador de calor principal 18 para intercambiar calor indirectamente desde el aire comprimido a las corrientes enriquecidas en oxígeno y enriquecidas en nitrógeno y de este modo enfriar el aire comprimido a una temperatura adecuada para su rectificación. Como se les ocurriría a los expertos en la técnica, en otros procedimientos de separación, podría obtenerse una alimentación como gas natural a presión obviando así la necesidad de compresión dentro de la planta en sí misma.

Habiendo descrito brevemente la planta de separación de aire 1, una descripción más detallada comienza con el sistema de compresión 10. El sistema de compresión 10 incluye un compresor 20 de carga base para comprimir una corriente 22 entrante de aire a una presión que pueda estar dentro del intervalo de entre aproximadamente 5 y aproximadamente 15 bares absolutos ("bara"). El compresor 20 puede ser un compresor de engranajes integral con refrigeración intermedia y separación del condensado.

La corriente 24 resultante de aire comprimido se dirige a continuación a una unidad de prepurificación 26 que pueda comprender varias operaciones unitarias, todas conocidas en la técnica, que incluyen: refrigeración directa con agua; refrigeración basada en refrigerantes; contacto directo con agua fría; separación de fases y/o adsorción dentro de lechos adsorbentes que operan fuera de fase que típicamente contienen un adsorbente tipo alúmina. La unidad de prepurificación 26 produce una corriente comprimida 28 purificada que tiene un muy bajo contenido de contaminantes de mayor punto de ebullición tales como agua y dióxido de carbono que de otra manera podrían congelarse dentro del intercambiador de calor principal 18, e hidrocarburos que podrían recogerse dentro de la unidad de separación de aire 12 y presentan un peligro para la seguridad.

La corriente 28 de aire comprimido purificado se divide en las corrientes 30 y 32. La corriente 30 se somete a compresión adicional dentro de un compresor de refuerzo 34 cargado por una turbina que está operativamente asociado con un turboexpansor 36 para recuperar parte del trabajo de expansión en operación del compresor de refuerzo 34. Mediante la compresión se produce una corriente 38 que puede tener una presión que puede estar típicamente entre aproximadamente 15 y aproximadamente 20 bara. A continuación, el vapor 38 se comprime adicionalmente mediante un compresor 40 para producir una primera corriente de aire comprimido 42 que tiene una presión de entre aproximadamente 20 y aproximadamente 60 bara.

La corriente 32 puede constituir entre aproximadamente 25 por ciento y aproximadamente 35 por ciento de la corriente 28 de aire comprimido purificado y se comprime adicionalmente dentro de un compresor 44 para producir una segunda corriente 46 de aire comprimido que tiene una presión de entre aproximadamente 25 y aproximadamente 70 bara.

Como se tratará, la primera corriente 42 de aire comprimido después de haber sido enfriada y sometida al control de temperatura según la presente invención se introduce en el turboexpansor 36. El escape del turboexpansor 36, la corriente de escape 48, se introduce en una región de cola 50 de la columna de mayor presión 14. La segunda corriente de aire comprimido 46, como se tratará, condensa dentro del intercambiador de calor principal 18 frente a la vaporización de un producto presurizado para producir una corriente de aire líquido 52 que se expande mediante una válvula dentro de una válvula de expansión 54 hasta una presión adecuada para su entrada en la columna de mayor presión 14 para producir una corriente líquida 56 de presión reducida. A este respecto, la columna de mayor presión 14 puede operar a una presión de entre aproximadamente 5 y aproximadamente 6 bara. Una primera porción 58 de la corriente 56 de líquido de presión reducida se introduce en la columna de mayor presión 14 y una segunda porción 60 de la corriente 52 de líquido de presión reducida, después de haber sido expandida en una válvula de expansión 62 hasta una presión adecuada para su introducción en la columna 16 de menor presión, se introduce a continuación en la columna 16 de menor presión como una corriente 63. A este respecto, la columna 16 de menor presión puede operar a una presión de entre aproximadamente 1,1 y 1,4 bara.

La columna de mayor presión 14 está equipada con elementos de transferencia de materia 64 y 68, esquemáticamente ilustrados, que pueden ser un empaquetamiento estructurado. El vapor introducido vía la corriente de escape 48 inicia una fase de vapor ascendente que entra en contacto con una fase de líquido descendente dentro de elementos de transferencia de materia 64 y 68. Adicionalmente, la primera porción 58 de la corriente de líquido de presión reducida 56 desciende dentro del elemento 64 de empaquetamiento y el vapor formado ascenderá a través del elemento 68 de empaquetamiento. Cuando el vapor asciende dentro de la columna

de mayor presión 14 se enriquece aún más en los componentes más ligeros del aire, a saber, nitrógeno, y cuando el líquido desciende dentro de la columna de destilación 14 de mayor presión, el líquido se enriquece aún más en los componentes más pesados del aire, a saber, oxígeno, para producir una corriente 82 de cola de la columna de oxígeno bruto líquido que se recoge dentro de la región de cola 50 de la columna de destilación 14.

- 5 Una corriente 70 de cabeza de la columna enriquecida en nitrógeno se introduce en un calderín 72 localizado dentro de la cola de la columna 16 de menor presión donde se vaporiza parte de las colas 74 de la columna enriquecidas en oxígeno que se recogen dentro de la columna de destilación 16 de menor presión en virtud de la destilación que se produce dentro de tal columna. Esto produce una corriente 76 de nitrógeno líquido que se divide en una primera 78 y una segunda 80 corriente de nitrógeno de reflujo para mantener el reflujo en las columnas de mayor y menor presión 14 y 16, respectivamente. El reflujo proporcionado en la columna de mayor presión 14 en virtud de la primera corriente de reflujo de nitrógeno 78 inicia la formación de la fase de líquido descendente. Una corriente 82 de oxígeno líquido bruto compuesta de las colas de la columna de oxígeno líquido bruto dentro de columna de mayor presión 14 se expande por una válvula dentro de una válvula de expansión 84 hasta la presión de la columna 16 de menor presión y se introduce en la columna 16 de menor presión como una corriente 85. La segunda corriente 80 de reflujo de nitrógeno se subenfía dentro de una unidad de subrefrigeración 86 para formar una corriente 88 para mantener el reflujo en la columna de menor presión 16. Toda o una porción de la corriente 88 puede introducirse en la columna 16 de menor presión como una corriente 89 después de pasar a través de la válvula 87. Una porción de la corriente 88 puede extraerse como producto líquido 102 y enviarse a un dispositivo de almacenamiento adecuado (no mostrado).
- 20 La columna 16 de menor presión está equipada con elementos de contacto 90, 92, 94 y 96 para la transferencia de materia que ponen en contacto a las fases de líquido y de vapor dentro de columnas de menor presión 16 para producir las colas 74 de la columna enriquecidas en oxígeno líquido, una corriente 98 de producto nitrógeno vapor y una corriente residual de nitrógeno vapor 100 que se pasan a la unidad de subrefrigeración 86 para subenfriar a la segunda corriente 80 de reflujo de nitrógeno.
- 25 Una corriente 104 de líquido enriquecida en oxígeno compuesta de las colas 74 de la columna enriquecidas en oxígeno líquido puede presurizarse por medio de una bomba 106 para producir una corriente 108 presurizada de oxígeno líquido. Parte de la corriente 108 presurizada de oxígeno líquido es vaporizada dentro del intercambiador de calor principal 18. Como se ilustra, como producto puede extraerse una corriente 109 presurizada de oxígeno líquido producto. En tal caso, el resto, la corriente 110 es vaporizada dentro del intercambiador de calor principal 18 para producir una corriente 111 presurizada de producto oxígeno que puede extraerse como un producto oxígeno a alta presión. Adicionalmente, la corriente 100 residual de nitrógeno también puede calentarse en el intercambiador de calor principal 18 para formar la corriente 112 residual y la corriente producto 98 de nitrógeno vapor que pueden calentarse dentro del intercambiador de calor principal 18 para formar una corriente producto 113 enriquecida en nitrógeno. Para los fines que ya se han esbozado anteriormente, dentro del intercambiador de calor principal 18 se proporcionan pasos 114', 115', 116' y 117' para el intercambio de calor y pasos 118, que se tratarán con mayor detalle de aquí en adelante, para la refrigeración de la primera corriente de aire comprimido 42.
- 30
- 35

Según la presente invención, la producción de líquidos de la planta de separación de aire 1, a saber la corriente producto 109 de oxígeno líquido presurizado y la corriente producto 102 de nitrógeno líquido, se varía variando la presión en la primera corriente de aire comprimido 42. Esta variación de la presión puede efectuarse mediante una línea de derivación 122 que tiene una válvula 124 que puede posicionarse en una posición abierta y una cerrada para controlar la derivación permitiendo el flujo dentro de línea de derivación 122 o cortando el flujo a la línea de derivación 122. Alternativamente, la línea 122 puede configurarse para la recirculación del compresor 40. Adicionalmente, en lugar de la línea de derivación 122, el compresor 40 podría equiparse con paletas de entrada variables para variar la presión de la primera corriente 42 de aire comprimido.

- 45 Durante el modo de producción elevada de líquido, si se aumenta la presión de la primera corriente 42 de aire comprimido, se producirá más refrigeración y por lo tanto se producirá más líquido. Al contrario, si se reduce la presión de la primera corriente de aire comprimido 42, el turboexpansor 36 producirá menos refrigeración y por lo tanto se producirá una disminución en la producción de líquido.

- 50 Sin embargo, en los modos de producción elevada de líquidos la primera corriente 42 de aire comprimido puede licuarse parcialmente debido a su elevada presión y la refrigeración dentro del intercambiador de calor principal 18. El control de temperatura de la corriente de entrada al turboexpansor 36 se consigue configurando el intercambiador de calor principal para descargar la primera corriente subsidiaria 126 y la segunda corriente subsidiaria 128 a mayor y menor temperatura para a su vez controlar la temperatura de la corriente alimentada a la entrada del turboexpansor 36. Con el fin de controlar la temperatura a la entrada del turboexpansor 36, se proporcionan pares de válvulas de control 130 y 134. El primer par de válvulas de control 130 tiene una válvula de control de flujo alto 136 y una válvula de control de flujo bajo 138. Similarmente, el segundo par de válvulas de control de flujo tiene una válvula de control de flujo alto 140 y una válvula de control de flujo bajo 142. Estas válvulas se denominan de "alto flujo" y "bajo flujo" en un sentido comparativo. Por ejemplo, una válvula de "alto flujo" es una en la que el caudal volumétrico es cualquiera desde aproximadamente 10 y aproximadamente 100 veces el de una válvula de "flujo bajo". Sin embargo, el dimensionamiento de las válvulas de control de flujo alto relativo al de las válvulas de control
- 55
- 60

de flujo bajo dependería de una aplicación específica de la presente invención. Físicamente, las válvulas de flujo bajo son así unidades mucho más pequeñas que las válvulas de control de flujo alto.

Durante el modo de producción elevado de líquido, la válvula de control de flujo alto 136 está controlando el flujo de la parte predominante del flujo contenido dentro de la primera corriente subsidiaria 126. La válvula de control de flujo bajo 138 estará en una posición cerrada. Adicionalmente, la válvula de control de flujo alto 140 también estará cerrada y la válvula de control de flujo bajo 142 estará abierta para controlar el flujo de la segunda corriente subsidiaria 128 que estará en una fase densa o en una fase líquida. En el modo de baja producción de líquido, ahora la mayor parte del flujo va con la segunda corriente subsidiaria 128. Así, la válvula de control de flujo alto 136 está posicionada en la posición cerrada y la válvula de control de flujo bajo 138 está posicionada en la posición abierta. Similarmente, la válvula de control de flujo alto 140 controla ahora el flujo de la segunda corriente subsidiaria 128 y la válvula de control de flujo bajo 142 está posicionada en la posición cerrada.

El flujo de la primera corriente subsidiaria 126 y de la segunda corriente subsidiaria 128 se combinan a continuación dentro de un mezclador estático 144 para producir una corriente combinada 146 que puede introducirse en la entrada del turboexpansor 36 a una temperatura controlada.

Como se indicó anteriormente, el control de temperatura de la corriente combinada 146 está dispuesto de una manera que asegure que la corriente de escape 48 de la turbina no esté sustancialmente licuada o, en otras palabras, tenga un contenido de líquido no mayor que aproximadamente 5 por ciento. Más preferiblemente, la corriente de escape permanecerá a o cerca de la temperatura de saturación del vapor. Desde el punto de vista de la operación de la columna, ahora pueden limitarse efectivamente las variaciones por encima de la temperatura de saturación a menos que aproximadamente 20°C. Por tanto, cuando en la presente memoria y en las reivindicaciones se usa el término "aproximadamente" en conexión con la temperatura de saturación del vapor, quiere decir una temperatura que no sea menor que una temperatura a la cual más que 5 por ciento de licuación está en el escape del turboexpansor y no mayor que una temperatura que dará lugar a un sobrecalentamiento del escape más allá de 20°C. Con el fin de conseguir esto, el control de las válvulas de control de flujo alto y bajo 136, 138, 140 y 142 podrían posicionarse en posiciones pre-especificadas para obtener una temperatura controlada de la corriente combinada 146. Más preferiblemente, se empleará un control de bucle cerrado. En tal enfoque, la temperatura de la corriente 146 se mantiene detectando la temperatura de la corriente combinada 146 y comparando su valor en un valor/punto de consigna predeterminado y ajustando las posiciones de las válvulas 136, 138, 140 y 142 en consonancia. Con frecuencia, a tal control se le denomina control PID (control proporcional, integral y derivado) como es bien conocido en la técnica de la ingeniería de procesos. Alternativamente, también podría monitorizarse la diferencia de temperatura entre la corriente de escape 48 y la corriente 82. Las válvulas objeto se manipularían a continuación para controlar la temperatura de salida de la turbina en respuesta. Al hacerlo, el sobrecalentamiento de la turbina se mantiene en algún valor predeterminado próximo a la saturación.

La tabla siguiente representa un ejemplo calculado generado por medio de una simulación de un proceso en estado estacionario que ilustra las características operacionales clave de la planta de separación de aire durante períodos tanto de alta como baja producción de líquidos. En este ejemplo, la corriente 111 de oxígeno gaseoso es producida por el procedimiento a una presión de 30 bara. La columna de mayor presión 14 opera a 5,2 bara. Además, en este ejemplo, todo el flujo de expansión de la corriente 30 pasa a través del expansor 36 y por la columna 14. Las temperaturas de la primera y de la segunda corriente subsidiaria 126 y 128 se obtuvieron mediante una solución rigurosa para un diseño fijo de intercambiador de calor de aluminio con soldadura fuerte tal como el ilustrado en la Fig. 2 y descrito con más detalle después en la presente memoria. Tras el inicio del modo de producción elevada de líquido, la salida de la segunda corriente subsidiaria 128 está en un estado sustancialmente licuado.

Tabla		
Condiciones operaciones y de las corrientes	Producción baja de líquidos	Producción elevada de líquidos
Relación de presiones de expansión de la corriente combinada 146 y la corriente de escape de la turbina 48	3,0	8,6
Fracción del flujo de expansión de la corriente 30 relativa a la corriente 28 de aire purificado	0,656	0,669
Fracción del flujo de producto líquido (la suma de caudales de las corrientes de producto líquido 102 y 109 dividida entre el caudal de la corriente 22 completa de aire de entrada)	0,034	0,106
Segunda fracción de flujo subsidiario de la segunda corriente subsidiaria 128 a la corriente 30	0,989	0,004
Temperatura de la primera corriente subsidiaria 126	-100,6	-93,4

Temperatura de la segunda corriente subsidiaria 128	-133,4	-136,8
Sobrecalentamiento (en grados centígrados) de la corriente 48 de escape de la turbina	9,5	1,3

Una simulación del procedimiento objeto de una planta tal como la planta de separación de aire 1 en la cual el intercambiador de calor está diseñado de la manera convencional (para el modo de producción baja de líquido y sin control de temperatura para la entrada del turboexpansor) da lugar al escape de la turbina (corriente 48) que exhibe una fracción líquida de aproximadamente 30 por ciento. Desde un punto de vista termodinámico, el trabajo de la turbina para la relación de flujos del enfoque convencional sería 45 por ciento menor que el conseguible por medio de la aplicación de la invención descrita. En otras palabras, la refrigeración potencial para la misma relación de expansión se incrementa mucho por medio de la presente invención.

Se entiende que toda la corriente combinada 146 no necesita ir hasta el expansor 36. Si se desea, una porción de la corriente combinada 146 puede enviarse hacia atrás, al intercambiador de calor principal 18 para una refrigeración y licuación adicional y alimentar a la unidad de separación de aire 12. Similarmente, no toda la corriente de escape 48 necesita dirigirse a la unidad de separación de aire 12. Por ejemplo, una porción del escape 48 de la turbina podría recircularse al compresor 20 o a la salida de la unidad de prepurificación 26. Adicionalmente, la corriente de escape 48 podría introducirse en la columna de destilación 16 de menor presión. En tal caso, una porción de la corriente podría dirigirse a la corriente residual o calentarse y a continuación ventearse. Aunque no ilustrada, la presente invención es igualmente aplicable a las plantas de separación de aire que emplean diferentes configuraciones que la ilustrada en la Fig. 1. Por ejemplo, la presente invención tiene aplicación a las plantas de separación de aire en las cuales no hay ningún bombeo de líquidos de una corriente producto o en las cuales todo el líquido enriquecido en oxígeno sale como un producto y no se vaporiza nada. En el caso de una planta que no emplee el bombeo de líquidos, no habría ninguna corriente de aire comprimido tal como una segunda corriente 46 de aire comprimido y el aparato asociado con la producción y refrigeración de tal corriente. Incluso cuando hay vaporización de una corriente producto dentro de un intercambiador de calor principal, las corrientes que emanan desde la compresión de carga base, tales como las corrientes 30 y 32, podrían ser comprimidas hasta aproximadamente la misma presión nominal variando la presión de una de las corrientes que se introducen en un turboexpansor para variar la producción de líquido junto con un control de temperatura como se proporciona en la presente memoria. Como también se indicó anteriormente, la presente invención tiene aplicación a otras plantas de separación criogénica que no impliquen la separación de aire.

Con referencia a la Fig. 2, se ilustra con más detalle el intercambiador de calor 18. Como los expertos en la técnica entenderían, el intercambiador de calor 18 está orientado en una posición vertical y puede ser un intercambiador de calor del tipo de placas y aletas que tiene múltiples capas de placas que definen pasillos aleteados para el flujo para definir los pasos 114, 115, 116 y 117 para el intercambio de calor y de este modo efectuar el intercambio de calor de una manera conocida en la técnica. A este respecto, la segunda corriente 46 de aire comprimido se introduce por un encabezado de entrada 150 y la corriente 52 de aire líquido se descarga por el encabezado de salida 152. El flujo de tales corrientes es por toda la longitud completa del intercambiador de calor 18 y entre pasillos de flujo aleteados localizados entre las placas. Similarmente, la corriente residual 100 de nitrógeno también fluye por la longitud completa del intercambiador de calor 18 y se introduce a través de un encabezado de entrada 154 y se descarga como corriente residual 112 por un encabezado de salida 156. La corriente producto 98 de nitrógeno vapor se introduce por un encabezado de entrada 158 y se descarga por un encabezado de salida 160 como una corriente producto 113 enriquecida en nitrógeno. La corriente líquida 110 bombeada enriquecida en oxígeno se introduce por un encabezado de entrada 159 y se descarga como la corriente producto 111 de oxígeno presurizado por el encabezado 161.

La primera corriente 42 de aire comprimido se introduce en el intercambiador de calor 18 a través de un encabezado de entrada 162 y es redirigida mediante aletas de distribución 163 para que fluya en una dirección longitudinal del intercambiador de calor 18 y a través de un pasillo aleteado 164. Después de atravesar parcialmente la longitud del intercambiador de calor 18, el flujo es redirigido a continuación mediante aletas de distribución 165 y se descarga a través de un encabezado de salida 166 como una corriente 167. Parte de tal corriente 167 se descarga por el encabezado de salida 166 como una corriente 168 que a continuación es reintroducida en el intercambiador de calor 18 a través de un encabezado de entrada 169 y una parte restante de la corriente 167 forma la primera corriente subsidiaria 126. La corriente 168 se redirige a continuación mediante las aletas de distribución 170 para que fluya en la dirección longitudinal del intercambiador de calor 18 a través de un pasillo aleteado 171. Después de haber sido enfriada adicionalmente atravesando parcialmente el intercambiador de calor 18 a través del pasillo aleteado 171, la corriente 168 se redirige a continuación de nuevo por medio de las aletas de distribución 172 y se descarga a través de un encabezado de salida 173 como corriente 128. Se ha de advertir que, como podría ser bien apreciado por los expertos en la técnica, las capas de pasillos aleteados 164 y 171 forman de este modo los pasos para el intercambio de calor, designados en la Fig. 1 mediante el número de referencia 118, para la primera corriente 42 de aire comprimido que se usan para formar la primera corriente subsidiaria 126 y la segunda corriente subsidiaria 128.

Con referencia a la Fig. 3, en una realización alternativa del intercambiador de calor principal 18, un intercambiador de calor principal 18' está equipado con un encabezado de salida 166 y un encabezado de entrada 169 que podrían ser colocados frente a frente. En tal caso, las aletas de distribución 165 y 170 son reemplazadas por una disposición de aletas de distribución 165' y 170' que están separadas por una partición diagonal para dividir el flujo.

- 5 Con referencia a la Fig. 4, en una realización alternativa del intercambiador de calor 18, se equipa un intercambiador de calor 18'' con una sección aleteada de recorrido difícil 165'. Una sección aleteada de recorrido difícil es una sección de aletas dispuesta para producir una resistencia al flujo principal paralela a la dirección del flujo que es mayor que la resistencia al flujo perpendicular a la dirección del flujo. Cuando la válvula 136 está abierta, ésta actúa para dividir el flujo para que la primera corriente subsidiaria 126 sea descargada por el encabezado de salida 167' a un mayor caudal que una porción restante de la corriente que fluye dentro del pasillo aleteado 164. La porción restante fluye a continuación a través del pasillo aleteado 171 y a continuación es redirigida mediante aletas de distribución 172 al encabezado de salida 173 como la segunda corriente subsidiaria 128 que se enfría adicionalmente debido a su paso continuado por el intercambiador de calor 18''.

- 15 Con referencia a la Fig. 5, se presenta un intercambiador de calor 18''' como una realización alternativa al intercambiador de calor 18. Con referencia adicional a las Figs. 6 y 7, se proporciona una capa de aletas del distribuidor 165'' para redirigir el flujo desde el pasillo aleteado 164 al encabezado de salida 166. La corriente 168 entra en el encabezado de entrada 169 y a continuación fluye a través de las aletas del distribuidor 170' para ser redirigida al pasillo aleteado 171 para su descarga por el encabezado de descarga 173 como la segunda corriente subsidiaria 128. Las aletas 165'' y 170' tienen una altura que es aproximadamente la mitad de la altura del pasillo.
- 20 Se colocan una encima de la otra con una placa divisora en medio. En esta vía la distribución de la entrada y la salida puede conseguirse en un volumen más pequeño, aunque la pérdida de carga incurrida será mayor (como resultado de reducir el área de flujo a la mitad).

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

REIVINDICACIONES

1. Un método de separación que comprende:

- 5 Separar una mezcla gaseosa comprimida dentro de una planta de rectificación criogénica purificando la mezcla gaseosa comprimida (24), refrigerando la mezcla comprimida y purificada por intercambio de calor indirecto con corrientes de mezclas de componentes (114, 115, 116), y rectificando la mezcla gaseosa dentro de una unidad de separación (12) que al menos tiene una columna (14, 16) para producir las corrientes de mezclas de componentes;
- Descargar una corriente líquida (102, 104) de la unidad de separación (12) enriquecida en un componente de la mezcla de la mezcla gaseosa; y
- 10 Enfriar parcialmente al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida (24) durante el intercambio de calor indirecto para producir una mezcla gaseosa parcialmente enfriada, dividir la mezcla gaseosa parcialmente enfriada en una primera corriente subsidiaria (126) que sale del intercambio de calor indirecto a una mayor temperatura, y en una segunda corriente subsidiaria (128) que se enfría adicionalmente durante el intercambio de calor indirecto y sale del intercambio de calor indirecto a una menor temperatura; **caracterizador por:**
- 15 Combinar la primera corriente subsidiaria (126) y la segunda corriente subsidiaria (128) después de la salida del intercambio de calor indirecto para producir una corriente combinada (146);
- Expandir al menos parte de la corriente combinada (146) con la realización de trabajo dentro de un turboexpansor (36) para suministrar refrigeración a la planta de rectificación criogénica (12) e introducir al menos parte de una corriente de escape (48) del turboexpansor en la unidad de separación; y
- 20 Controlar la temperatura de la corriente combinada (146) tal que la corriente de escape (48) esté al menos a su temperatura de saturación controlando los caudales de la primera y de la segunda corriente subsidiaria
- Donde la presión de la al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida (24) se varía para a su vez variar la refrigeración suministrada mediante el turboexpansor (36) y la tasa de producción de la corriente líquida tal que aumentando la presión de la al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida en un modo de producción elevado de líquidos aumenta la producción de la corriente líquida y disminuyendo la presión de la al menos parte de la mezcla gaseosa comprimida en un modo de producción baja de líquidos disminuye la producción de la corriente líquida;
- 25 Durante el modo de producción elevado de líquidos los caudales de la primera corriente subsidiaria (126) y de la segunda corriente subsidiaria (128) se controlan tal que el caudal de la primera corriente subsidiaria es mayor que el de la segunda corriente subsidiaria; y
- 30 Durante el modo de producción baja de líquidos los caudales de la primera corriente subsidiaria y de la segunda corriente subsidiaria se controlan tal que el caudal de la primera corriente subsidiaria es menor que el de la segunda corriente subsidiaria.

2. El método según la reivindicación 1, donde:

- 35 La mezcla gaseosa comprimida (24) está compuesta de aire;
- Las corrientes de mezclas de componentes (114, 115, 116) son corrientes enriquecidas en oxígeno y en nitrógeno;
- La unidad de separación (12) es una unidad de separación de aire que tiene columnas de destilación (14, 16) de mayor y de menor presión operativamente asociadas una con la otra en una relación de transferencia de calor para producir las corrientes enriquecidas en oxígeno y en nitrógeno; y
- 40 La corriente líquida (102, 104) está enriquecida en oxígeno o en nitrógeno.

3. El método según la reivindicación 2, donde:

- La corriente líquida (104) está enriquecida en oxígeno y parte de la corriente líquida se bombea para producir una corriente de líquido presurizado (108);
- 45 La corriente enriquecida en oxígeno está formada por la corriente de líquido presurizado (108) y dicha corriente de líquido presurizado es vaporizada como resultado del intercambio de calor indirecto para producir un producto (111) presurizado enriquecido en oxígeno;
- La mezcla gaseosa comprimida (24) se divide en una primera corriente de aire comprimido (30) y en una segunda corriente de aire comprimido (32) antes del intercambio de calor indirecto, formándose la al menos parte de la mezcla gaseosa por la primera corriente de aire comprimido;
- 50

La segunda corriente de aire comprimido (32), durante el intercambio de calor indirecto provoca que se vaporice la corriente de líquido presurizado (110) y que licúe la segunda corriente de aire comprimido, para de este modo formar una corriente de aire líquido (52); y

5 El aire contenido dentro de la primera corriente de aire comprimido (30) y de la segunda corriente de aire comprimido (32) es rectificado dentro de la unidad de separación de aire (12).

4. El método según la reivindicación 3, donde:

Los caudales de la primera corriente subsidiaria (126) y de la segunda corriente subsidiaria (128) se controlan mediante un primer (130) y un segundo (134) par de válvulas, conteniendo cada uno una válvula de control de flujo alto (136, 140) y una válvula de control de flujo bajo (138, 142);

10 Durante el modo de producción elevado de líquidos, los caudales de la primera corriente subsidiaria (126) y de la segunda corriente subsidiaria (128) son respectivamente controlados por la válvula de control de flujo alto (136) del primer par (130) de válvulas y la válvula de control de flujo bajo (142) del segundo par (134) de válvulas, siendo posicionadas la válvula de control de flujo bajo (138) del primer par (130) de válvulas y la válvula de control de flujo alto (140) del segundo par (134) de válvulas en posiciones cerradas; y

15 Durante el modo de producción baja de líquidos, los caudales de la primera corriente subsidiaria (126) y de la segunda corriente subsidiaria (128) son respectivamente controlados por la válvula de control de flujo bajo (138) del primer par (130) de válvulas y la válvula de control de flujo alto (140) del segundo par (134) de válvulas, siendo posicionadas la válvula de control de flujo alto (136) del primer par (130) de válvulas y la válvula de control de flujo bajo (142) del segundo par (134) de válvulas en las posiciones cerradas.

20 5. El método según la reivindicación 4, donde:

La corriente de escape (48) se introduce en una región de cola de la columna de mayor presión (14);

La corriente de aire líquido (52) se divide en una primera y en una segunda porción (58, 60) y se expanden por una válvula a la mayor y menor presión de las columnas de mayor y menor presión (14, 16), respectivamente; y

25 Las porciones primera y segunda (58, 60) se introducen en las columnas de mayor y menor presión (14, 16), respectivamente.

6. El método según la reivindicación 4, donde:

30 Una corriente de cabeza de la columna enriquecida en nitrógeno (70) de la columna de mayor presión (14) es licuada frente a la vaporización de las colas (74) de la columna que contienen oxígeno de la columna de menor presión (16), produciendo de este modo una primera y una segunda corriente de reflujo de nitrógeno (78, 80) para mantener el reflujo en las columnas de mayor y menor presión (14, 16);

the second (80) of the nitrogen reflux streams is subcooled prior to being introduced into the lower pressure column (16) by exchanging heat to a waste liquid nitrogen stream (100) and a product nitrogen vapor stream (98) withdrawn from the lower pressure column (16);

the waste liquid nitrogen stream (100) and the product nitrogen vapor stream (98) are the nitrogen-enriched streams taking part in the indirect heat exchange; and

a crude liquid oxygen stream (82) formed from an oxygen containing column bottoms of the higher pressure column (14) is valve expanded and introduced into the lower pressure column (16) for rectification without being subjected to indirect heat exchange to further cool the crude liquid oxygen stream prior to being valve expanded.

La segunda (80) de las corrientes de reflujo de nitrógeno es subenfriada antes de ser introducida en la columna de menor presión (16) mediante intercambio de calor con una corriente (100) líquida residual de nitrógeno y una corriente (98) producto de nitrógeno vapor retirada de la columna de menor presión (16);

35 La corriente (100) líquida residual de nitrógeno y la corriente (98) producto de nitrógeno vapor son las corrientes enriquecidas en nitrógeno que toman parte en el intercambio de calor indirecto; y

40 Una corriente (82) de oxígeno líquido bruto formada a partir de las colas de la columna que contienen oxígeno de la columna de mayor presión (14) se expande por una válvula y se introduce en la columna de menor presión (16) para su rectificación sin ser sometida a intercambio de calor indirecto para enfriar más la corriente de oxígeno líquido bruto antes de ser expandida por la válvula.

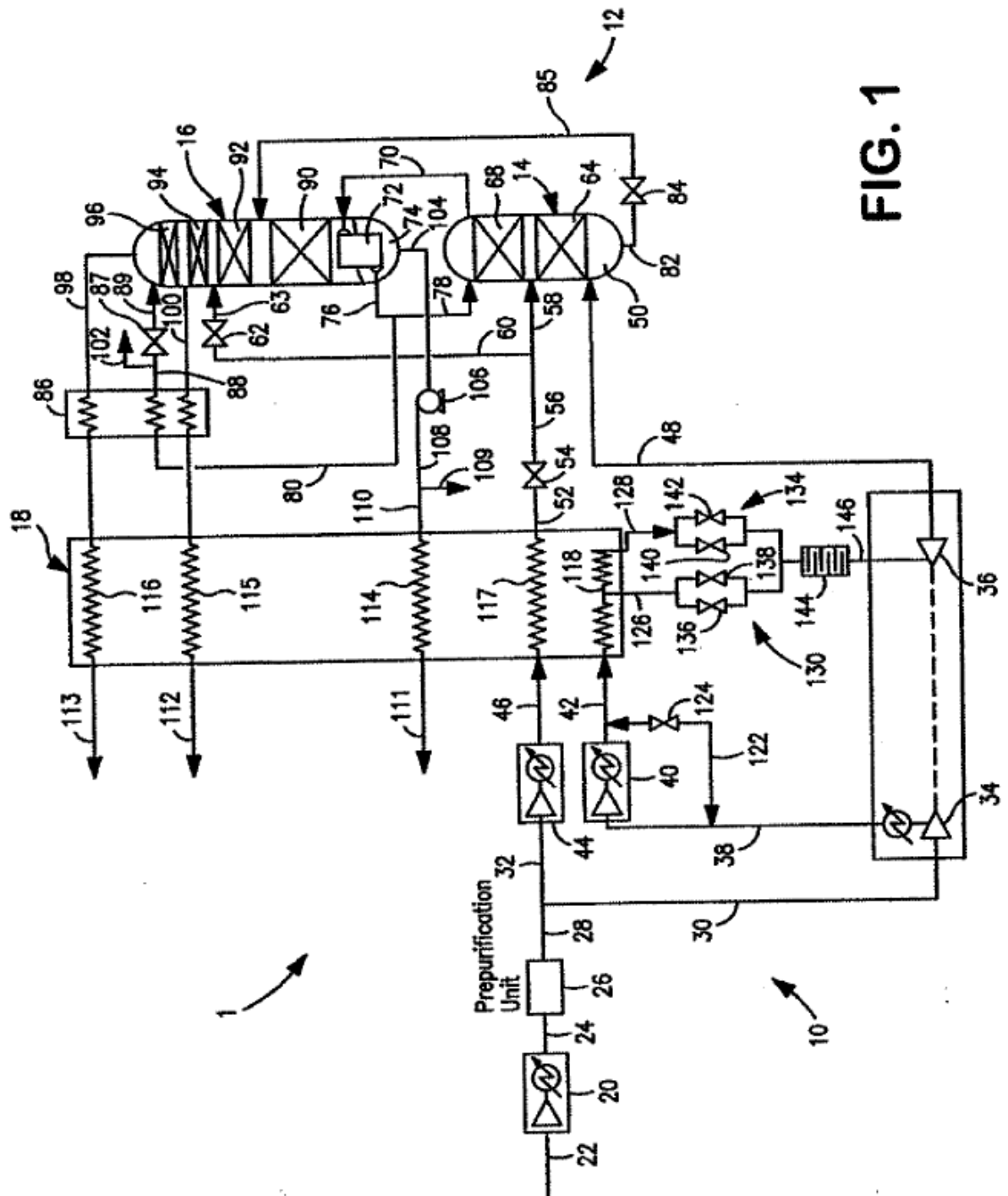
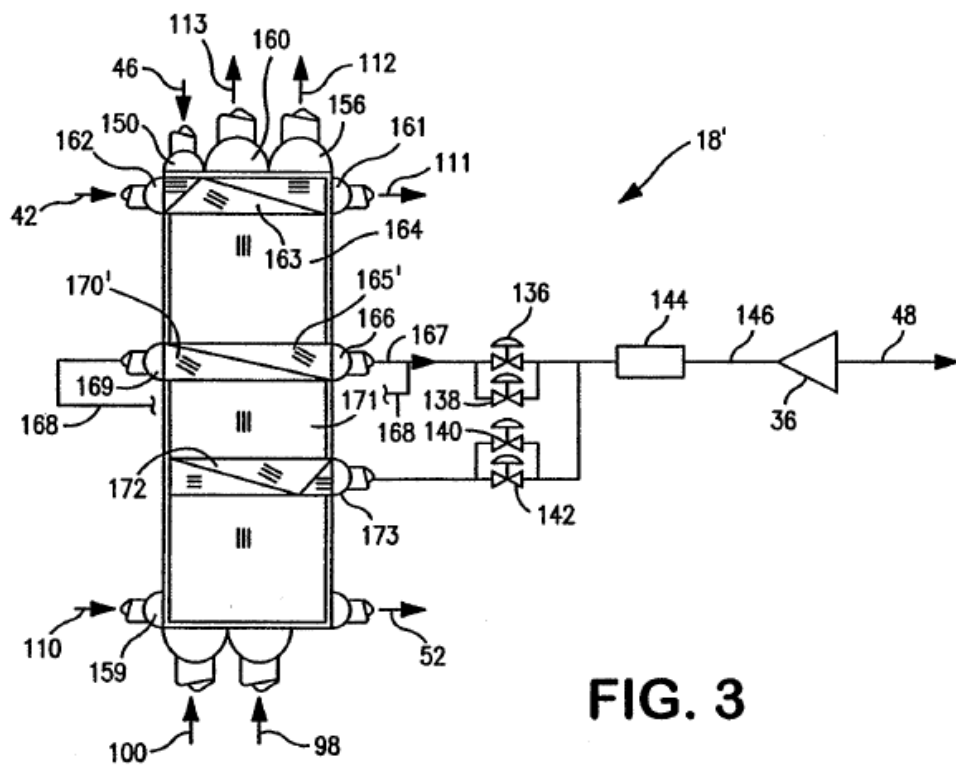
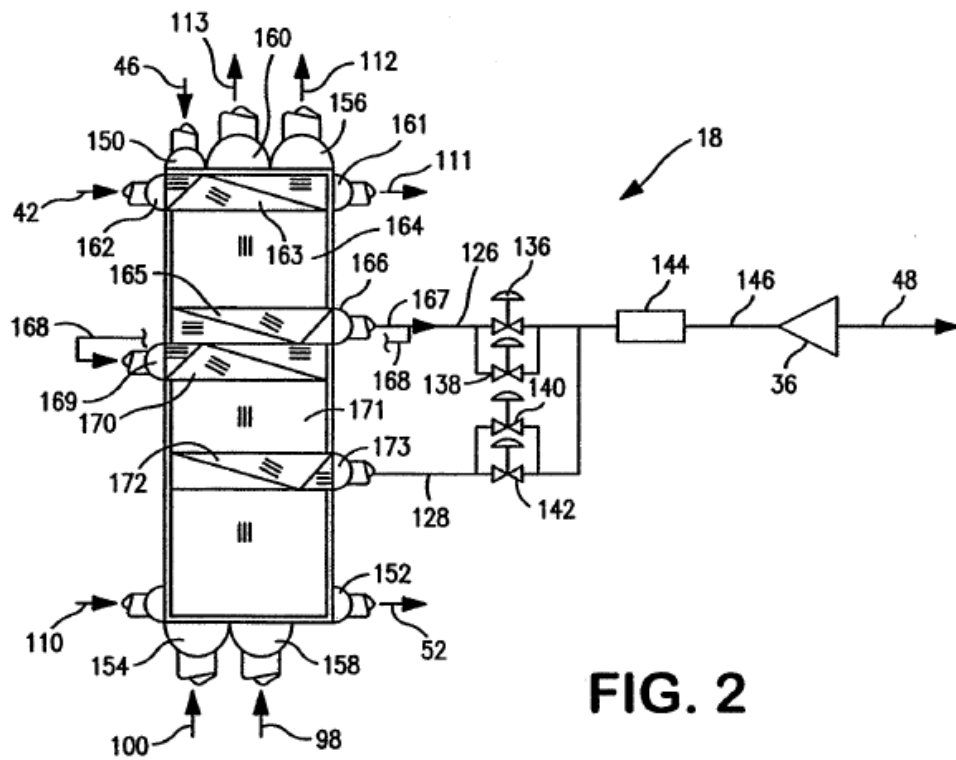


FIG. 1



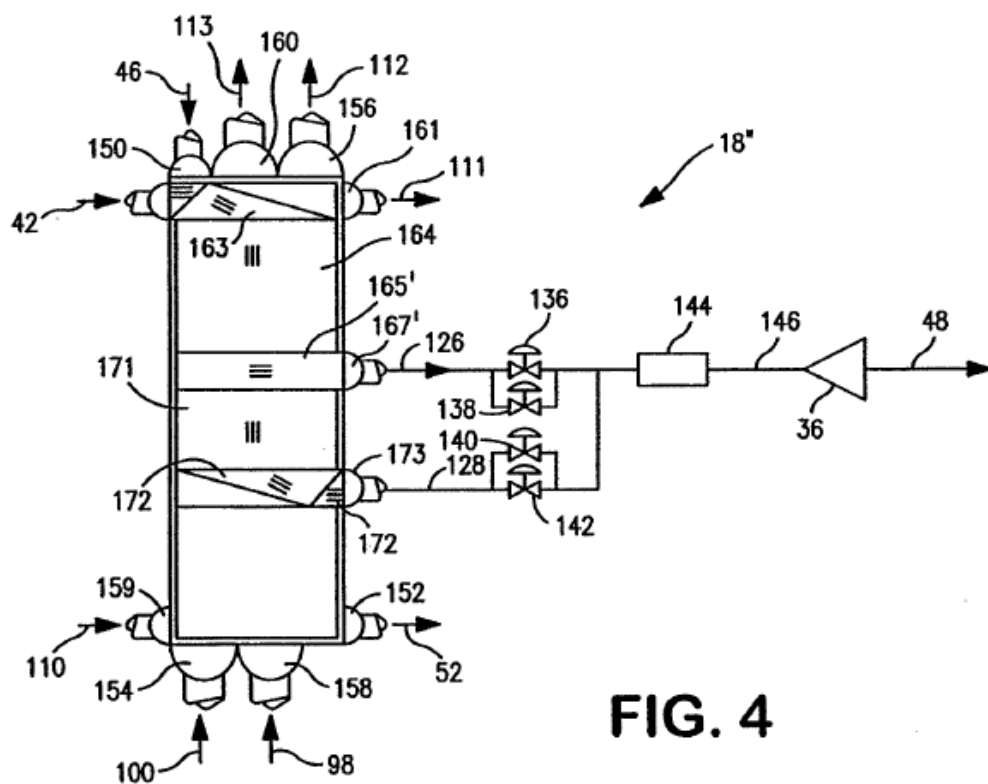


FIG. 4

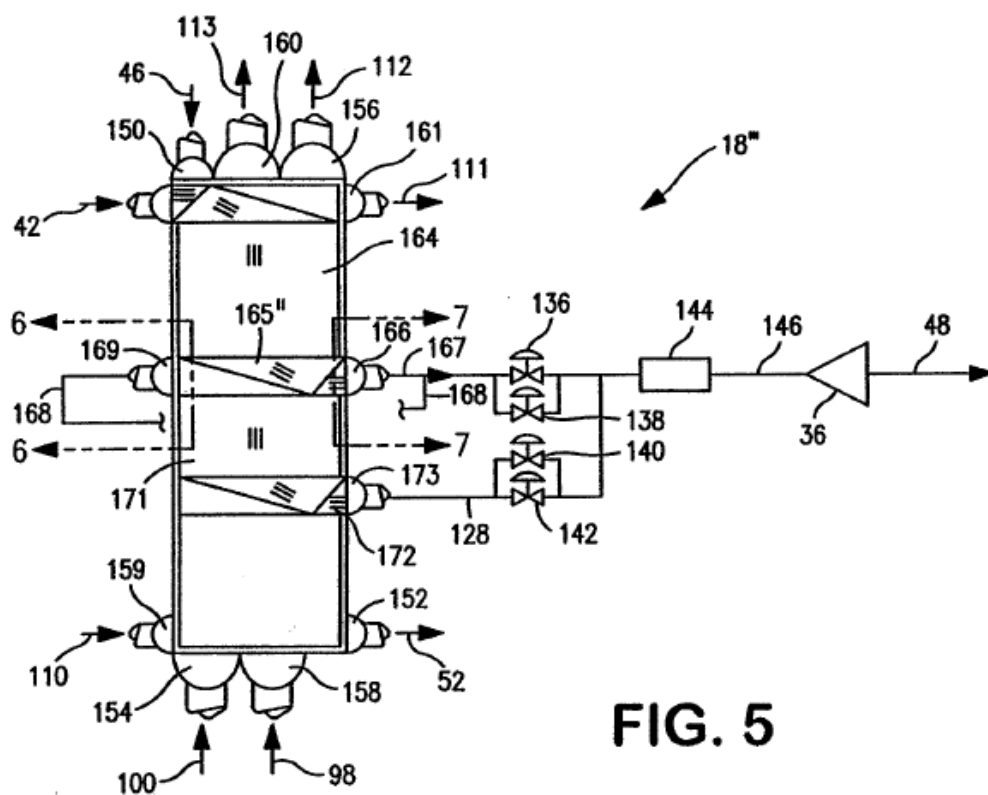


FIG. 5

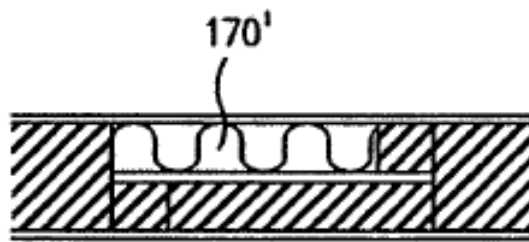


FIG. 6

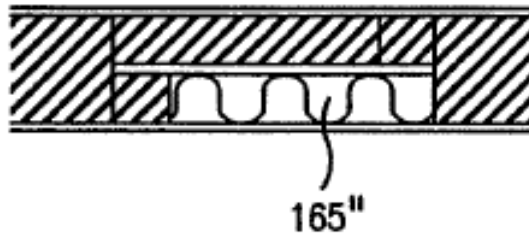


FIG. 7