

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 980**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2011** **E 11158015 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017** **EP 2366969**

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

30 Prioridad:

19.03.2010 US 727442

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

01.12.2017

73 Titular/es:

PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
39 Old Ridgebury Road
Danbury, CT 06810-5113, US

72 Inventor/es:

HOWARD, HENRY EDWARD

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 644 980 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

Procedimiento y aparato de separación de aire

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y aparato para separar aire en el que se destila aire comprimido y purificado en el interior de una unidad de columna de destilación y una alimentación de líquido a la unidad de columna de destilación se somete a un subenfriamiento potenciado por lo que la recuperación de oxígeno y/o de argón de la columna de presión más baja de la unidad de columna de destilación se incrementa por medio de una proporción de líquido a vapor incrementada por debajo del lugar de alimentación de líquido.

Antecedentes de la invención

10 El aire se separa en sus partes componentes por destilación que se realiza en plantas de separación de aire. Dichas plantas emplean un compresor de aire principal para comprimir el aire, una unidad de prepurificación para retirar los contaminantes de punto de ebullición más alto del aire, tales como dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos, y un intercambiador de calor principal para enfriar el aire comprimido y purificado resultante hasta una temperatura criogénica adecuada para su destilación en el interior de una unidad de columna de destilación. La
15 unidad de columna de destilación emplea una columna de presión más alta, una columna de presión más baja y opcionalmente una columna de argón cuando el argón es un producto deseado.

El aire comprimido se introduce en la columna de presión más alta y se rectifica para dar un producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto, también conocido como líquido de caldera, y un producto de cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno. Una corriente del oxígeno líquido bruto se introduce en la columna de presión más baja para más refinación para dar un producto de fondo de columna de líquido rico en oxígeno y un producto de cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno. La columna de presión más baja funciona a una presión más baja para permitir que el líquido rico en oxígeno condense al menos parte del producto de cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno de la columna de presión más alta con el fin de llevar a cabo reflujo en ambas columnas y para la producción de productos nitrogenados a partir del condensado. Las corrientes del líquido rico en oxígeno, vapor rico en nitrógeno y vapor rico en nitrógeno condensado se pueden introducir en el intercambiador de calor principal para ayudar a enfriar el aire y calentarse para producir productos de oxígeno y nitrógeno.
20
25

Cuando el argón es un producto deseado, se puede conectar una columna de argón a la columna de presión más baja para rectificar una corriente de un vapor que contiene argón y oxígeno retirado de la columna de presión más baja. Además, cuando se desea un producto de oxígeno y/o nitrógeno a alta presión, potencialmente una presión supercrítica, se puede bombear una corriente del líquido rico en oxígeno producido como fondos de columna en la columna de presión más baja y/o una corriente de líquido rico en nitrógeno producido como condensado y luego calentarse en un intercambiador de calor para producir un vapor de alta presión o un fluido supercrítico. Típicamente, la carga de trabajo de intercambio de calor para dichos fines se proporciona comprimiendo más parte del aire en un compresor elevador después de que el aire se haya comprimido en el compresor de aire principal. La corriente de aire de presión elevada resultante se licúa y la corriente de aire líquido se puede introducir o bien en la columna de presión más alta o bien en la columna de presión más baja o en ambas de dichas columnas.
30
35

Como se puede apreciar, el grado en que el oxígeno está presente en el interior del producto de cabeza de columna de la columna de presión más baja depende principalmente de la proporción de reflujo en el interior de las secciones superiores de la columna de presión más baja. A medida que se incrementa la proporción de reflujo (L/V), se extraerá una mayor proporción de oxígeno y argón de la columna de presión más baja a un nivel inferior (eventualmente recuperado como producto oxígeno o argón). Típicamente, en plantas que emplean una bomba para presurizar un producto con aire licuado resultante, al menos una porción del aire líquido se introduce en la columna de presión más baja por encima del lugar o lugares en los que se introduce el oxígeno líquido bruto. Esta introducción de aire líquido incrementa la proporción de líquido a vapor por debajo del punto de introducción a esa L/V que hubiera existido con relación a la parte superior de la columna o que hubiera existido si el aire líquido no se alimentara a la columna superior. Esto disminuye la cantidad de oxígeno en el interior del producto de cabeza de columna de la columna de presión más baja y a su vez incrementa la recuperación de oxígeno.
40
45

En el documento WO 2008/112728 A2 se divulga un procedimiento de separación de aire como se define en la porción de caracterización previa de la reivindicación 1 y un aparato de separación de aire como se define en la porción de caracterización previa de la reivindicación 9. Como se analizará, la presente invención proporciona un procedimiento y aparato para separar el aire en el que se produce un líquido subenfriado que tiene tanto un contenido en oxígeno y en nitrógeno como un contenido en argón que es no menor que el aire y dicho líquido subenfriado se introduce en la columna de presión más baja por encima de una región de la misma en la que se introduce el oxígeno líquido bruto para disminuir el grado en que el oxígeno está presente en el interior del producto de cabeza de la columna de presión más baja hasta una medida que es mayor que la obtenida convencionalmente por la introducción de aire líquido como en la técnica anterior.
50
55

Compendio de la invención

La presente invención es un procedimiento de separación de aire como se define en la reivindicación 1 y un aparato de separación de aire como se define en la reivindicación 9. La presente invención, en un aspecto, proporciona un procedimiento de separación de aire en el que se realiza un proceso de rectificación criogénica que comprende destilar aire comprimido y purificado para dar al menos una fracción rica en nitrógeno y una fracción rica en oxígeno en el interior de una unidad de columna de destilación que tiene al menos una columna de presión más alta y una columna de presión más baja. La columna de presión más baja está asociada operativamente a la columna de presión más alta en una relación de transferencia de calor y está conectada a la columna de presión más alta de manera que un producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto producido en la columna de presión más alta se introduce en y se refina más en la columna de presión más baja.

El proceso de rectificación criogénica se realiza de manera que se producen una primera corriente de líquido y una segunda corriente de líquido que contienen oxígeno y nitrógeno. La primera corriente de líquido tiene un contenido en oxígeno más alto que el aire y la segunda corriente de líquido tiene un contenido en oxígeno más bajo que la primera corriente de líquido y un contenido en argón no menor que el aire después de la purificación. La segunda corriente de líquido se subenfria mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido y la segunda corriente de líquido se introduce en la columna de presión más baja en un lugar de columna por encima de aquel en el que el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto o cualquier porción del mismo se introduce en la columna de presión más baja. Como resultado, se incrementa la proporción de líquido a vapor por debajo del lugar de columna en el que se introduce la segunda corriente de líquido y por lo tanto, se reduce el oxígeno presente en el interior del producto de cabeza de columna y se incrementa la recuperación de oxígeno de la unidad de columna de destilación.

Como resultado del procedimiento de la presente invención, se incrementa la producción de oxígeno ya que se reduce el oxígeno presente en el interior del producto de cabeza de columna. Esta reducción será mayor que en la técnica anterior dado que la segunda corriente de líquido está en un estado subenfriado. En la técnica anterior, la introducción de aire líquido va acompañada de la expansión del aire líquido. El subenfriamiento de la segunda corriente de líquido, que también puede estar compuesta de aire líquido, disminuye el grado en el que el vapor se desprenderá de la expansión e introducción de dicha corriente en la columna de presión más baja. Por lo tanto, se incrementa la proporción de líquido a vapor en el interior de la columna de presión más baja con respecto a la técnica anterior y se incrementa el grado en el que el oxígeno líquido y el argón son impulsados hacia la fase líquida descendente. Como resultado, se incrementará la recuperación de oxígeno con respecto a la contemplada por la metodología de la técnica anterior. Asimismo, si el argón es un producto deseado, la unidad de columna de destilación está provista de una columna de argón conectada a la columna de presión más baja de manera que se introduce una corriente de vapor que contiene oxígeno y argón en la columna de argón y se separa el argón del oxígeno para producir una fracción rica en argón que se utiliza para producir un producto de argón. Se proporciona un condensador de argón para condensar una corriente de vapor rico en argón compuesta por la fracción rica en argón con el fin de producir el producto de argón y el reflujo en la columna. La introducción de la segunda corriente de líquido, después de haberse subenfriado, en la columna de presión más baja reduce el argón en el interior del producto de cabeza de columna de la columna de presión más baja. Al hacerlo, se encuentra una acumulación incrementada de argón en el interior de las secciones inferiores de la columna de presión más baja. Como consecuencia, se incrementa la tasa a la que se puede extraer la corriente de vapor que contiene oxígeno y argón de la columna de presión más baja. Ya que el argón recuperado de la unidad de columna de destilación es proporcional a este argón contenido se incrementa la recuperación global de argón de la unidad de columna de destilación. Se debe tener en cuenta que el término "proceso de rectificación criogénica", tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones significa cualquier proceso que incluye, pero no se limita a, comprimir y purificar el aire y luego enfriar el aire hasta una temperatura adecuada para su rectificación en el interior de una unidad de separación de aire que tiene una columna de presión más alta, una columna de presión más baja y opcionalmente una columna de argón y además, impartir refrigeración al proceso de alguna manera, tal como mediante turboexpansión de aire. Dicho proceso puede incluir la producción de productos presurizados calentando una corriente enriquecida en oxígeno y opcionalmente enriquecida en nitrógeno bombeada mediante intercambio de calor indirecto con una corriente de aire de presión elevada que se licúa como resultado del calentamiento. Además, el término "planta de rectificación criogénica", tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones significa cualquier planta que tenga componentes para realizar dicho proceso de rectificación criogénica, que incluyen, pero no se limitan a, un compresor de aire principal, una unidad de prepurificación, un intercambiador de calor principal, una unidad de columna de destilación que tiene columnas de presión más alta y más baja y opcionalmente una columna de argón, un medio para crear refrigeración tal como un turboexpansor, una o más bombas cuando se requieren productos presurizados y compresores elevadores para comprimir el aire para calentar corrientes bombeadas resultantes.

El proceso de rectificación criogénica se realiza de manera que una corriente de oxígeno líquido bruto compuesta del producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto de la columna de presión más alta se subenfria y constituye el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto que se introduce en y se refina más en la columna de presión más baja. Al menos parte de una corriente rica en componentes, enriquecida en un componente del aire, por ejemplo oxígeno y/o nitrógeno se bombea para formar una corriente de líquido bombeado y al menos parte de la corriente de líquido bombeado se calienta mediante intercambio de calor indirecto con una corriente de

aire de presión elevada, para producir de este modo una corriente de producto presurizado a partir de la corriente de líquido bombeado y una corriente de aire líquido a partir de la corriente de aire de presión elevada.

5 La primera corriente de líquido se puede formar a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto y una parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se puede expandir con válvula e introducirse en la columna de presión más baja. La segunda corriente de líquido se puede formar a partir de al menos parte de la corriente de aire líquido. La primera corriente de líquido se expande con válvula antes de subenfriar la segunda corriente de líquido y la segunda corriente de líquido se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja por encima de la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto. En un modo de realización específico de lo precedente, 10 la primera corriente de líquido después de haberse expandido con válvula se introduce en el condensador de argón e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón y con la segunda corriente de líquido condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón, subenfriando la segunda corriente de líquido y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. Las corrientes de fase líquida y de vapor compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja. En un modo de realización específico alternativo, la segunda corriente de líquido se subenfriaría mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido en el interior de un intercambiador de calor después de que la primera corriente de líquido se ha expandido con válvula en el interior de un intercambiador de calor. La primera corriente de líquido después de haber pasado por el intercambiador de calor se introduce en el condensador de argón e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón, condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. Una corriente en fase líquida y una corriente en fase de vapor compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja. 20

En otro modo de realización alternativo, la primera corriente de líquido se forma a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto y una parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja. La corriente de aire líquido se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más alta y la segunda corriente de líquido se retira de la columna de presión más alta a un nivel de columna en el que la corriente de aire líquido se introduce en la columna de presión más alta. La segunda corriente de líquido se subenfriaría mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido después de haberse expandido con válvula en el interior de un intercambiador de calor y la segunda corriente de líquido después de haberse subenfriado se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja por encima de la parte restante del oxígeno líquido bruto. La primera corriente de líquido después de haber pasado por el intercambiador de calor se introduce en el condensador de argón e intercambia calor indirectamente con una corriente de vapor rico en argón, condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. Una corriente en fase líquida y una corriente en fase de vapor compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja. 25 30 35

En aún otro modo de realización alternativo, parte de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula y luego se introduce en el condensador de argón e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón producida como un producto de cabeza de columna de la columna de argón condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. Una parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja y una corriente en fase de vapor compuesta por la fase de vapor se introduce en la columna de presión más baja. La primera corriente de líquido está formada por una corriente en fase líquida compuesta por la fase líquida y la segunda corriente de líquido se forma a partir de al menos parte de la corriente de aire líquido. La segunda corriente de líquido se expande con válvula y se subenfriaría mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido en un intercambiador de calor y la segunda corriente de líquido, después de haberse subenfriado, se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja por encima de la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto. 40 45

En aún otro modo de realización, la corriente de aire líquido se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más alta y la segunda corriente de líquido se retira de la columna de presión más alta en o por debajo de un nivel de columna de presión más alta en el que se introduce el aire líquido. La primera corriente de líquido se retira de la columna de presión más baja, se expande con válvula e intercambia calor indirectamente con la segunda corriente de líquido en el interior de un intercambiador de calor, para subenfriar de este modo la segunda corriente de líquido. La primera corriente de líquido se hace pasar desde el intercambiador de calor al condensador de argón e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón producida como un producto de cabeza de columna de la columna de argón condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. Una corriente en fase líquida y una corriente en fase de vapor, compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja en o por debajo de un nivel de columna de presión más baja del que se retira la primera corriente de líquido de la columna de presión más baja. La segunda corriente de líquido, después de haberse subenfriado se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja en el lugar de columna que está ubicado por encima de la introducción de la corriente de producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto. 50 55 60

En otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato de separación de aire que comprende una planta de rectificación criogénica. La planta de rectificación criogénica comprende una unidad de columna de destilación que tiene al menos una columna de presión más alta y una columna de presión más baja configuradas para destilar aire comprimido y purificado para dar al menos una fracción rica en nitrógeno y una fracción rica en oxígeno. La columna de presión más baja está operativamente asociada a la columna de presión más alta en una relación de transferencia de calor y conectada a la columna de presión más alta de manera que un producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto producido en la columna de presión más alta se introduce en y se refina más en la columna de presión más baja. La planta de rectificación criogénica tiene un medio para producir una primera corriente de líquido, y un medio para producir una segunda corriente de líquido. La primera corriente de líquido y la segunda corriente de líquido contienen ambas oxígeno y nitrógeno, la primera corriente de líquido tiene un contenido en oxígeno más alto que el aire y la segunda corriente de líquido tiene un contenido en oxígeno más bajo que la primera corriente de líquido y un contenido en argón no menor que el aire después de la purificación. También se proporcionan un primer medio para subenfriar el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto que se va a refinar más en la columna de presión más baja y un segundo medio para subenfriar la segunda corriente de líquido mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido. El segundo medio de subenfriamiento está conectado a la columna de presión más baja de manera que la segunda corriente de líquido se introduce en la columna de presión más baja en una columna por encima de aquella en la que se introduce el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto o cualquier porción del mismo en la columna de presión más baja de modo que se incrementa una proporción de líquido a vapor por debajo del lugar de columna en el que se introduce la segunda corriente de líquido y por lo tanto, se reduce el oxígeno presente en el interior del producto de cabeza de columna en la columna de presión más baja y se incrementa la recuperación de oxígeno de la fracción rica en oxígeno en el interior de la columna de presión más baja.

La planta de rectificación criogénica puede ser una planta de oxígeno líquido bombeado y como tal estar provista de una bomba conectada a la unidad de separación de aire de manera que al menos parte de una corriente rica en componentes, enriquecida en un componente del aire, se bombea para formar una corriente de líquido bombeado. El medio de intercambio de calor principal está conectado a la unidad de separación de aire para enfriar el aire y calentar al menos parte de la corriente de líquido bombeado mediante intercambio de calor indirecto con una corriente de aire de presión elevada, para producir de este modo una corriente de producto presurizado a partir de la corriente de líquido bombeado y una corriente de aire líquido a partir de la corriente de aire de presión elevada. El primer medio de subenfriamiento está configurado para subenfriar una corriente de oxígeno líquido bruto compuesta por el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto para refinarse más en la columna de presión más baja y la unidad de columna de destilación puede estar provista de una columna de argón. La columna de argón está conectada a la columna de presión más baja de manera que se introduce una corriente de vapor que contiene oxígeno y argón en la columna de argón y se separa el argón del oxígeno para producir una corriente de vapor rico en argón. Un condensador de argón está configurado para condensar la corriente de vapor rico en argón, devolver el reflujo de columna a la columna de argón y producir una corriente de producto de argón. El segundo medio de subenfriamiento se puede conectar al primer medio de subenfriamiento de manera que la primera corriente de líquido se forma a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto y al medio de intercambio de calor principal de manera que la segunda corriente de líquido se forma a partir de al menos parte de la corriente de aire líquido. El primer medio de subenfriamiento está conectado a la columna de presión más baja de manera que una parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se introduce en la columna de presión más baja. La columna de presión más baja conectada al segundo medio de subenfriamiento de manera que la segunda corriente de líquido se introduce en la columna de presión más baja por encima de la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto. La primera, segunda y tercera válvulas de expansión están situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja y el primer medio de subenfriamiento de manera que la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja; el segundo medio de subenfriamiento y el primer medio de subenfriamiento de manera que la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria se expande con válvula antes de entrar en el segundo medio de subenfriamiento; y entre el segundo medio de subenfriamiento y la columna de presión más baja de manera que la segunda corriente de líquido se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja.

El segundo medio de subenfriamiento puede ser el condensador de argón y en tal caso, el condensador de argón está configurado de manera que la primera corriente de líquido se introduce en un condensador de argón e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón y con la segunda corriente de líquido condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón, subenfriando la segunda corriente de líquido y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. El condensador de argón está conectado a la columna de presión más baja de manera que se introducen en la columna de presión más baja una corriente en fase líquida y una corriente en fase de vapor compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente. De forma alternativa, el segundo medio de subenfriamiento puede ser un intercambiador de calor y el condensador de argón está conectado al intercambiador de calor de manera que la primera corriente de líquido después de haber pasado por el intercambiador de calor se introduce en el condensador de argón e intercambia calor indirectamente con una corriente de vapor rico en argón producida como un producto de cabeza de columna de la columna de argón condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. El condensador de argón está conectado a la columna de presión más baja de manera que se introducen en la columna de presión más baja una corriente en fase

líquida y una corriente en fase de vapor compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente.

En otra alternativa, el segundo medio de subenfriamiento es un intercambiador de calor conectado al primer medio de subenfriamiento de manera que la primera corriente de líquido se forma a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto y el primer medio de subenfriamiento está conectado a la columna de presión más baja de manera que una parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja. La columna de presión más alta está conectada al medio de intercambio de calor principal de manera que la corriente de aire líquido se introduce en la columna de presión más alta y el intercambiador de calor está conectado a la columna de presión más alta de manera que la segunda corriente de líquido se retira de la columna de presión más alta a un nivel de columna en el que la corriente de aire líquido se introduce en la columna de presión más alta. La columna de presión más baja está conectada al intercambiador de calor de manera que la segunda corriente de líquido después de haberse subenfriado se introduce en la columna de presión más baja por encima de la parte restante del oxígeno líquido bruto. El condensador de argón está conectado al intercambiador de calor de manera que la primera corriente de líquido después de haber pasado por el intercambiador de calor se introduce en un condensador de argón e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. El condensador de argón está conectado a la columna de presión más baja de manera que se introducen en la columna de presión más baja una corriente en fase líquida y una corriente en fase de vapor compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente. La primera, segunda, tercera y cuarta válvulas de expansión situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja y el primer medio de subenfriamiento de manera que la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja; el intercambiador de calor y el primer medio de subenfriamiento de manera que la primera corriente de líquido se expande con válvula antes de entrar en el intercambiador de calor; entre el intercambiador de calor y la columna de presión más baja de manera que la segunda corriente de líquido se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja; y entre el medio de intercambio de calor principal y la columna de presión más alta de manera que la corriente de aire líquido se expande antes de entrar en la columna de presión más alta.

En aún otra alternativa, el condensador de argón está conectado al primer medio de subenfriamiento de manera que parte de la corriente de oxígeno líquido bruto se introduce en un condensador de argón e intercambia calor indirectamente con una corriente de vapor rico en argón condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. La columna de presión más baja está conectada al primer medio de subenfriamiento de manera que una parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se introduce en la columna de presión más baja y el condensador de argón está conectado a la columna de presión más baja de manera que una corriente en fase de vapor compuesta por la fase de vapor se introduce en la columna de presión más baja. El segundo medio de subenfriamiento es un intercambiador de calor conectado al condensador de argón de manera que la primera corriente de líquido está formada por una corriente en fase líquida compuesta por la fase líquida y también al medio de intercambio de calor principal de manera que la segunda corriente de líquido se forma a partir de al menos parte de la corriente de aire líquido. La columna de presión más baja está conectada al intercambiador de calor de manera que la segunda corriente de líquido, después de haberse subenfriado, se introduce en la columna de presión más baja por encima de la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto. La primera, segunda, tercera y cuarta válvulas de expansión están situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja y el primer medio de subenfriamiento de manera que la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja; el intercambiador de calor y el primer medio de subenfriamiento de manera que la primera corriente de líquido se expande con válvula antes de su entrada en el intercambiador de calor; entre el intercambiador de calor y la columna de presión más baja de manera que la segunda corriente de líquido se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja; y entre el medio de intercambio de calor principal y el medio de intercambio de calor de manera que la al menos parte de la corriente de aire líquido se expande antes de su entrada en el intercambiador de calor.

En otra alternativa, el medio de intercambio de calor principal está conectado a la columna de presión más alta de manera que la corriente de aire líquido se introduce en la columna de presión más alta. El segundo medio de subenfriamiento es un intercambiador de calor conectado a la columna de presión más alta y a la columna de presión más baja de manera que la segunda corriente de líquido se retira de la columna de presión más alta en o por debajo de un nivel de columna de presión más alta en el que la corriente de aire líquido se introduce en la columna de presión más alta, la primera corriente de líquido se retira de la columna de presión más baja y la segunda corriente de líquido, después de haberse subenfriado se introduce en la columna de presión más baja por encima de la introducción de la corriente de producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto. El condensador de argón está conectado al intercambiador de calor de manera que la primera corriente de líquido se hace pasar desde el intercambiador de calor al condensador de argón e intercambia calor indirectamente con una corriente de vapor rico en argón, condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido. El condensador de argón está a su vez conectado a la columna de presión más baja de manera que se introducen en la columna de presión más baja una corriente en fase líquida y una corriente en fase de vapor, compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, en o por debajo de un nivel de columna de presión más baja en el que se retira la primera corriente de líquido de la columna de

presión más baja. La primera, segunda, tercera y cuarta válvulas de expansión situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja y el primer medio de subenfriamiento de manera que la parte restante de la corriente de oxígeno líquido bruto se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja; el intercambiador de calor y la columna de presión más baja de manera que la primera corriente de líquido se expande con válvula antes de su entrada en el intercambiador de calor; entre el intercambiador de calor y la columna de presión más baja de manera que la segunda corriente de líquido se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja; y entre el medio de intercambio de calor principal y la columna de presión más alta de manera que la al menos parte de la corriente de aire líquida se expande con válvula antes de su entrada en la columna de alta presión.

10 **Breve descripción de los dibujos**

Aunque la memoria descriptiva concluye con reivindicaciones que señalan claramente la materia objeto que el solicitante considera su invención, se cree que la invención se entenderá mejor cuando se toma en conexión con los dibujos adjuntos en los que:

15 La fig. 1 es un diagrama esquemático de un aparato de separación de aire para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con la presente invención en el que el condensador de argón asociado a la columna de argón está configurado para su uso como un aparato de subenfriamiento que se emplea en el subenfriamiento de una corriente de líquido que se introduce en la columna de presión más baja del aparato para disminuir el contenido en oxígeno y argón en el interior del producto de cabeza de columna de dicha columna;

20 la fig. 2 es un diagrama esquemático fragmentario de un modo de realización alternativo de un aparato de separación de aire para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con la presente invención en el que se usa un intercambiador de calor independiente como aparato de subenfriamiento y la corriente de líquido está compuesta por aire líquido;

la fig. 3 es un modo de realización alternativo de la fig. 2 en el que la corriente de líquido está compuesta por aire líquido sintético extraído de una columna de presión más alta;

25 la fig. 4 es un modo de realización alternativo de la fig. 3 en el que la corriente de líquido se subenfía mediante intercambio de calor indirecto con una corriente en fase líquida que está compuesta por una fase líquida producida en un condensador de argón asociado a la columna de argón; y

la fig.5 es un modo de realización alternativo de la fig. 3 en el que la corriente de líquido se subenfía mediante intercambio de calor indirecto con una corriente de líquido retirada de la columna de presión más baja.

30 A fin de evitar repeticiones innecesarias de explicación, se usarán los mismos números de referencia para dichos elementos que tienen la misma función en los diversos modos de realización de la presente invención ilustrados en las figuras.

Descripción detallada

35 Con referencia a la figura 1, se ilustra un aparato de separación de aire 1 que está diseñado para realizar un proceso de rectificación criogénica para producir tanto un producto de oxígeno presurizado como un producto de argón. La presente invención no está limitada, sin embargo, a dicho aparato y tiene aplicación más general a cualquier aparato de este tipo que esté diseñado para producir un producto de oxígeno, con o sin un producto de argón.

40 Como se analizará, en el aparato de separación de aire 1, un producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto de la columna de presión más alta, también conocido como líquido de caldera, se refina más en la columna de presión más baja subenfriando una corriente de dicho líquido de producto de fondo y luego introduciendo dicha corriente en la columna de presión más baja. Parte de la corriente se puede usar para condensar argón en un condensador de argón asociado a una columna de argón y luego introducirse en la columna de presión más baja como corrientes en fase líquida y de vapor. De acuerdo con la presente invención, se usa una primera corriente de líquido que está compuesta por el oxígeno líquido bruto u otra corriente que tiene un contenido en oxígeno más alto que el aire para subenfriar una segunda corriente de líquido que es una corriente de aire líquido o como se analizará con respecto a otros modos de realización, una corriente de aire líquido sintético que contiene oxígeno y nitrógeno y que tiene un contenido en oxígeno más bajo que la primera corriente de líquido y una concentración de argón no menor que el aire. La segunda corriente de líquido se subenfía y luego se introduce en la columna de presión más baja en un lugar por encima del oxígeno líquido bruto para incrementar la proporción de líquido a vapor en el interior de la columna de presión más baja. El efecto de esto es impulsar el oxígeno y también, el argón a la fase líquida que desciende en dicha columna para incrementar el oxígeno en el interior del producto de fondo de columna líquido rico en oxígeno producido en la columna de presión más baja y también, la recuperación de oxígeno. Cuando el argón es un producto deseado, también se introducirá más argón en la columna de argón para incrementar también la recuperación de argón. También se debe mencionar que aunque la presente invención se analiza con respecto a una planta de oxígeno líquido bombeado donde de hecho el argón es un producto deseado, la presente invención se podría aplicar retirando las primera y segunda corrientes líquidas que tienen el contenido en oxígeno, nitrógeno y argón antes mencionado de lugares de columna adecuados, subenfriando la segunda corriente de líquido mediante

intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido y luego introduciendo la segunda corriente de líquido en la columna de presión más baja para incrementar la proporción de líquido a vapor en una sección o secciones de columna por debajo de su punto de introducción para impulsar el oxígeno a la fase líquida que desciende en el interior de la columna de presión más baja.

- 5 Más específicamente, en el aparato de separación de aire 1, la primera corriente de líquido está compuesta por el oxígeno líquido bruto y la segunda corriente de líquido está compuesta por aire líquido. En el aparato de separación de aire 1, una corriente de aire de alimentación 10 se comprime por un compresor 12 y luego se purifica en el interior de una unidad de purificación 14. El compresor 12 puede ser una máquina de etapas múltiples con interenfriadores entre etapas y un posrefrigerador para retirar el calor de compresión de la etapa final. Aunque no se ilustra, se
10 podría instalar un posrefrigerador independiente directamente corriente abajo del compresor 12. La unidad de prepurificación 14 bien conocida por los expertos en la técnica puede contener lechos de adsorbente, por ejemplo alúmina o adsorbente de tipo tamiz molecular de carbono para adsorber las impurezas de punto de ebullición más alto contenidas en el aire y, por lo tanto en la corriente de aire de alimentación 10. Por ejemplo, dichas impurezas de punto de ebullición más alto bien conocidas incluirían vapor de agua y dióxido de carbono que se congelarán y se
15 acumularán a las bajas temperaturas de rectificación contempladas por el aparato de separación de aire 1. Además, también se pueden adsorber hidrocarburos que se podrían acumular en el interior de líquidos ricos en oxígeno y de este modo presentar un peligro para la seguridad.

- La corriente de aire comprimida y purificada resultante 16 se divide luego en primera y segunda corrientes de aire comprimido y purificado secundarias 18 y 20. La primera corriente de aire comprimido y purificado secundaria 18 se
20 enfría hasta casi saturación en el interior de un intercambiador de calor principal 22. Se debe tener en cuenta que aunque el intercambiador de calor principal 22 se ilustra como una unidad única, como se apreciaría por los expertos en la técnica, el medio exacto para enfriar el aire y para realizar otras funciones de intercambio de calor podría diferir del ilustrado. Típicamente, el medio utilizado consistiría en dos o más intercambiadores de calor conectados en paralelo y además, cada uno de dichos intercambiadores de calor podría estar separado en segmentos en los
25 extremos caliente y frío de los mismos. Además, los intercambiadores de calor se podrían dividir además en un diseño inclinado en el que la carga de trabajo de intercambio de calor requerida a altas presiones, por ejemplo entre una corriente de aire de presión elevada 53 y una primera parte 104 de al menos parte de una corriente de líquido bombeado 102, que ambos se van a analizar, se realiza en uno o más intercambiadores de calor de alta presión y otra carga de trabajo de intercambio de calor que se va a realizar a presiones más bajas se realiza en un
30 intercambiador de calor de presión más baja, por ejemplo, la primera corriente de aire comprimido y purificado secundaria 18 y la corriente de vapor rico en nitrógeno 94, que también se van a analizar. Todos los intercambiadores de calor de este tipo pueden ser de diseño de aleta de placa e incorporar una construcción de aluminio reforzado. Los intercambiadores de calor con devanado en espiral son una posible construcción para los intercambiadores de calor de presión más alta.

- 35 La corriente purificada y enfriada comprimida resultante 24 se introduce luego en una unidad de separación de aire 26 que tiene columnas de presión más alta y más baja 28 y 30 y una columna de argón 32. Específicamente, la corriente purificada y enfriada comprimida 24 se introduce en la columna de presión más alta 28 que funciona a una presión de entre aproximadamente 5 y aproximadamente 6 bar (a) y se designa como "más alta" porque funciona a una presión más alta que la columna de presión más baja 30 que se designa como "más baja" porque funciona a una presión más baja que la columna de presión más alta 28. La columna de presión más alta 28 está provista de
40 elementos de contacto de transferencia de masa mostrados en general con los números de referencia 34 y 36 que se usan para poner en contacto una fase líquida ascendente de la mezcla que se va a separar, aire, con una fase líquida descendente. A medida que la fase de vapor asciende en el interior de la columna se hace más rica en nitrógeno para producir un producto de cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno y un producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto 50, también conocido como líquido de caldera, que se refinará más en la columna de presión más baja 30. Los elementos de transferencia de masa pueden comprender relleno estructurado, bandejas, relleno aleatorio o una combinación de dichos elementos. La columna de presión más baja 30 está provista de dichos elementos de transferencia de masa indicados en general por los números de referencia 38, 40,
45 42, 44 y 46 y la columna de argón 32 también está provista de elementos de transferencia de masa indicados en general por el número de referencia 48.

- La segunda corriente de aire comprimido secundaria 20 se comprime más en un compresor elevador 52 para producir una corriente de aire de presión elevada 53 que se introduce en el intercambiador de calor principal 22. La corriente de aire de presión elevada 53 constituye entre aproximadamente un 30 por ciento y aproximadamente un
55 40 por ciento del aire total que entra en el aparato de separación de aire 1. Una primera parte 54 de la corriente de aire de presión elevada 53 se retira del intercambiador de calor principal 22 después de un recorrido a través parcial de la misma y se expande en una turbina de expansión 56 para generar refrigeración por producción de una corriente de escape 58 a una presión de entre aproximadamente 1,1 y aproximadamente 1,5 bar (a) que se introduce en la columna de presión más baja 30. Típicamente, la primera parte 54 de la corriente de aire de presión elevada 53 constituye entre aproximadamente un 10 por ciento y aproximadamente un 20 por ciento de la corriente de aire de presión elevada 53. Se debe observar que el trabajo de expansión del eje se puede impartir a la compresión de la corriente de expansión o usarse con el fin de comprimir otra corriente de proceso o generar
60 electricidad. Como se conoce en la técnica, se debe impartir refrigeración a una planta de separación de aire para fines tales como compensar las pérdidas en el extremo caliente de los intercambiadores de calor, las fugas de calor

en la planta y para producir líquidos. También se conocen en la técnica otros medios para producir dicha refrigeración tal como introducir un escape de turbina en la columna de presión más alta, la expansión de nitrógeno de una corriente rica en nitrógeno tomada de la columna de presión más baja después del calentamiento parcial de la misma así como otros ciclos de expansión conocidos en la técnica. Una segunda o parte restante de la corriente de aire de presión elevada 53 tras enfriarse en el interior del intercambiador de calor principal 22 forma una corriente de aire líquido 60 que tiene una temperatura en un intervalo de entre aproximadamente 98 y aproximadamente 105 K. Se debe observar que la primera parte 54 de la corriente de aire de presión elevada se podría producir retirando una corriente del compresor elevador 52 en una etapa intermedia y luego comprimiendo más dicha corriente. La segunda corriente de aire de presión elevada 53 se podría introducir luego en el intercambiador de calor principal 22 y atravesar completamente el mismo. En cualquier caso, el término "corriente de aire de presión elevada" como se usa en las reivindicaciones significa cualquier corriente de aire de alta presión que sirve para calentar una corriente de oxígeno líquido bombeado y se puede formar de cualquier manera convencional. La corriente de aire líquido 60 se divide posteriormente en una primera parte 62 y una segunda parte 64. La primera parte 62 de la corriente de aire líquido se expande con válvula por la válvula de expansión 66 y se introduce en la columna de presión más alta 28 y la segunda parte 64 forma la segunda corriente de líquido con el fin de incrementar la proporción de líquido a vapor en la columna de presión más baja.

Una corriente de oxígeno líquido bruto 68 compuesta por el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto 50 se subenfriaría en una unidad de subenfriamiento 70 y se refina más en la columna de presión más baja 30 de una manera que también se analizará a continuación en el presente documento. A este respecto, la unidad de subenfriamiento 70 constituye un primer medio de subenfriamiento para lograr el subenfriamiento. Como es bien conocido en la técnica, se podrían usar otros medios tales como la integración de la función de subenfriamiento en parte del intercambiador de calor principal 22. Se debe observar que la corriente de aire líquido 64 se puede subenfriar parcialmente en el interior del intercambiador 70 antes de subenfriarse más en el intercambiador 118. Se debe observar que cuando se utiliza una unidad de subenfriamiento independiente, la posición física del intercambiador puede requerir una bomba de líquido para motivar el regreso del oxígeno líquido bruto a la columna superior. La refinación del oxígeno líquido bruto produce un producto de fondo de columna de líquido rico en oxígeno 72 de la columna de presión más baja 30 que se vaporiza parcialmente en un rehervidor de condensador 74 en el fondo de la columna de presión más baja 30 frente a la condensación de una corriente de producto de cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno 76 retirada de la columna de presión más alta 28. La corriente de líquido rico en nitrógeno resultante 78 se divide en primera y segunda corrientes de reflujo ricas en nitrógeno 80 y 82 que sirven como reflujo a la columna de presión más alta 28 y a la columna de presión más baja 30, respectivamente. La segunda corriente de reflujo rica en nitrógeno se subenfriaría en el interior de la unidad de subenfriamiento 70 y es en parte, como una corriente de reflujo 84, expandida con válvula por una válvula de expansión 86 e introducida como reflujo en la columna de presión más baja 30. Opcionalmente, otra parte 88 de la segunda corriente de reflujo rica en nitrógeno 82 se expande con válvula en una válvula de expansión 90 y se puede tomar como una corriente de producto líquido de nitrógeno 92. La carga de trabajo de intercambio de calor de subenfriamiento está provista de una corriente de vapor rico en nitrógeno 94 que está constituida por el producto de cabeza de columna de la columna de presión más baja 30. Después de haberse calentado parcialmente en el interior de la unidad de subenfriamiento 70, la corriente de vapor rico en nitrógeno se calienta completamente en el interior del intercambiador de calor principal 22 y se toma como una corriente de producto de nitrógeno 96.

Como se ilustra toda u opcionalmente, parte de una corriente de líquido rico en oxígeno 98, compuesto por el producto de fondo de columna de líquido rico en oxígeno 72 se bombea por una bomba 100 para producir una corriente de líquido bombeado 102. Una primera parte 104 de al menos parte de la corriente de líquido bombeado 102 se puede calentar en el intercambiador de calor principal 22 en intercambio de calor indirecto con la primera corriente de aire comprimido secundaria 18 para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado 106. Dependiendo del grado de presurización de la corriente de líquido bombeado 102, la corriente de producto de oxígeno presurizado 106 o bien será un fluido supercrítico o bien será un vapor de alta presión. Opcionalmente, una parte 108 de la corriente de líquido bombeado 102 se puede expandir con válvula en el interior de una válvula de expansión 110 y tomarse como una corriente de producto líquido rico en oxígeno 112. Como se conocerá por los expertos en la técnica, al igual o en lugar de ello, se podría usar otra corriente de líquido rico en componentes enriquecido en nitrógeno para formar un producto presurizado.

La columna de argón 32 funciona a una presión comparable con la columna de presión más baja 30 y empleará típicamente entre 50 y 180 etapas dependiendo de la cantidad de refinación de argón que se desee. Una corriente de alimentación que contiene argón y oxígeno gaseosa 114 se retira de la columna de presión más baja 30 en un punto en el que la concentración de argón es al menos casi máxima y la alimentación que contiene argón y oxígeno se rectifica en el interior de la columna de argón 32 para dar un producto de cabeza de columna de vapor rico en argón y un producto de fondo de columna de líquido rico en oxígeno. Una corriente de vapor rico en argón 115, compuesta por el producto de cabeza de columna producida en la columna de argón 32, se condensa en un condensador de argón 116 que tiene una carcasa 117 y un núcleo 118 para producir una corriente de líquido rico en argón 120. Una parte 122 de la corriente de líquido rico en argón 120 se devuelve a la columna de argón 32 como reflujo y una parte 124 se expande con válvula en el interior de una válvula de expansión 126 y se toma como una corriente de producto de argón 128. Dependiendo del número de etapas, dicho producto rico en argón se puede procesar más para retirar oxígeno y nitrógeno de una manera conocida en la técnica. El producto de fondo de

columna de líquido rico en oxígeno y pobre en argón resultante de la columna de argón 32 se puede tomar como una corriente 130, bombearse por una bomba 132 y luego devolverse como una corriente de líquido pobre en argón 134 de regreso a la columna de presión más baja 30.

5 La corriente de oxígeno líquido bruto 68 compuesta por el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto 50 de la columna de presión más alta 28 se subenfria en el interior de la unidad de subenfriamiento 70, analizada previamente, y luego se divide para dar la primera y segunda corrientes de oxígeno líquido bruto secundarias 138 y 140. Como se analizará, la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138 sirve en el modo de realización particular ilustrado en la figura 1 como la primera corriente de líquido que subenfriará la segunda corriente de líquido formada por la segunda parte 64 de la corriente de aire líquido 60 de una manera que se analizará. La primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138 se expande con válvula en una válvula de expansión 142 y se introduce en una envoltura 117 que aloja el núcleo 118 para condensar la corriente de vapor rico en argón 116. Esto vaporiza parcialmente la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138 y produce las fases líquida y de vapor. Las corrientes de fase líquida y de vapor 146 y 148, que están compuestas por dichas fases líquida y de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja 30 para más refinación del producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto 50. Asimismo, la segunda corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 140 se expande con válvula en una válvula 150 y luego se introduce en la columna de presión más baja para más refinación.

20 La segunda corriente de líquido (parte 64 de la corriente de aire líquido 60) también se introduce en el núcleo 118 del condensador de argón 116 donde se subenfria mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido formada por la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138. La segunda corriente de líquido subenfriada 152 resultante se expande luego en una válvula 154 y se introduce en la columna de presión más baja 30 en un lugar por encima de los lugares en los que se introducen la segunda corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 140 y las corrientes de fase líquida y de vapor 146 y 148. Preferentemente, el núcleo 118 del condensador de argón 116 es de construcción de aleta de placa que tiene pasos de enfriamiento entre láminas de separación que se alimentan con una corriente de vapor rico en argón 115 y la segunda corriente de líquido. Los pasos de ebullición para vaporizar parcialmente el oxígeno líquido bruto que contiene la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138 están abiertos en extremos opuestos. Los pasos de enfriamiento proporcionados en el interior del núcleo 118 del condensador de argón 116 en el que la segunda corriente de líquido se subenfria no serán adyacentes a los que funcionan para condensar el argón. Como resultado, la segunda corriente de líquido subenfriado 152 tendrá una temperatura comparable a la del argón condensado y disminuirá el destello de vapor producido en la válvula de expansión 154. De esta manera, se incrementará la tasa de reflujo en la columna de presión más baja 30 (en la sección 44), se reducirá la cantidad de oxígeno y argón presentes en el producto de cabeza de columna de la columna de presión más baja 30 y se incrementará tanto la recuperación de oxígeno asociada al producto de fondo de columna de líquido rico en oxígeno 72 como la tasa a la que la corriente que contiene oxígeno y argón 114 se podrá extraer de la columna de presión más baja 30 por lo tanto, lo que dará como resultado un incremento de la recuperación de oxígeno y argón.

40 En la figura 1, el condensador de argón 116 por lo tanto, constituye un segundo medio de subenfriamiento que tiene una función de subenfriamiento. Con referencia a la figura 2, se proporciona un aparato de separación de aire 1' que constituye un modo de realización alternativo del aparato de separación de aire 1 mostrado en la figura 1. El aparato de separación de aire 1' incorpora un segundo medio para subenfriar la segunda corriente de líquido que está formado por un intercambiador de calor dedicado 156. La primera corriente de líquido producida por la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138, después de su expansión en la válvula de expansión 142 se introduce en el intercambiador de calor 156 para subenfriar la segunda corriente de líquido (segunda parte 64 de la corriente de aire líquido). El intercambio de calor indirecto vaporizará parcialmente la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138 que se vaporizará más mediante intercambio de calor indirecto con la corriente de vapor rico en argón 115. Por lo tanto, el condensador de argón 116' no está provisto de un conjunto independiente de pasos de enfriamiento para la segunda corriente de líquido. La ventaja de este modo de realización es que la temperatura resultante de la segunda corriente de líquido subenfriado 152' será varios grados más baja que la del argón condensado. Como resultado habrá incluso menos vapor de destello producido en el interior de la segunda corriente de líquido subenfriado 152' en comparación con la segunda corriente de líquido subenfriado 152 producida por el aparato de separación de aire 1 mostrado en la figura 1.

55 Con referencia a la figura 3 se ilustra un aparato de separación de aire 1'' que constituye un modo de realización alternativo del aparato de separación de aire 1' mostrado en la figura 2. En la planta de separación de aire 1'' toda la corriente de aire líquido 60 se introduce en la columna de presión más alta 28. La segunda corriente de líquido 64' es una corriente similar al aire, también conocida como aire líquido sintético que contiene oxígeno y nitrógeno así como argón. La concentración de argón es no menor que la del aire después de haberse purificado y el contenido en oxígeno es menor que el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto 50. Esta segunda corriente de líquido 64' se retira de un lugar de columna en o por debajo del punto en el que la corriente de aire líquido 60 se introduce en la columna de presión más alta 28. En el modo de realización ilustrado, la segunda corriente de líquido 64' se produce retirando el líquido descendente desde un tubo descendente de una bandeja por encima o desde una sección de relleno por encima del lugar de retiro que físicamente estaría en el mismo lugar de columna en el que la corriente de aire líquido 60 se introduce en la columna de presión más alta 28. Como en el aparato de separación de aire 1', se usa un intercambiador de calor dedicado 156' como medio para subenfriar la segunda corriente de líquido

5 64' mediante intercambio de calor indirecto con una primera corriente de líquido formada por la primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 138. La ventaja de esta disposición es que una porción del gas instantáneo generado por el aire líquido se captura en el interior de la columna de presión más alta 28, incrementando así el reflujó de líquido proporcionado por la segunda corriente de líquido subenfriado 152" resultante, así como el hecho de que la segunda corriente de líquido subenfriado 152" es más fría que la segunda corriente de líquido subenfriado 152 mostrada en la figura 1. Se debe observar que el lugar de alimentación de la segunda corriente de líquido 152" en la columna de presión más baja 30 puede residir a una altura considerable (~200 pies) y en tal caso, se requerirá una bomba mecánica para motivar el aire líquido en su lugar de alimentación. La misma consideración se aplicaría a otros modos de realización de la presente invención que se analizan en el presente documento.

10 Un aparato de separación de aire 1" se muestra en la figura 4 en el que todo el primer oxígeno líquido bruto secundario 138 se expande con válvula en el interior de la válvula de expansión 142 y se introduce en el condensador de argón 116. La primera corriente de líquido en este modo de realización se forma a partir de la corriente en fase líquida 146 que se descarga desde el condensador de argón y que intercambia calor indirectamente en el interior de un intercambiador de calor dedicado 156" con la segunda corriente de líquido que se
15 forma a partir de la segunda corriente de aire líquido secundaria 64 después de haberse despresurizado parcialmente por la válvula de expansión 158. A este respecto, si el aire licuado está a una presión suficiente, se puede producir un incremento de temperatura tras la expansión (isentrópica o isentálpica) debido al hecho de que el fluido está por encima de su "punto de inversión". Para una expansión isentálpica (con válvula), el punto de inversión está definido por un coeficiente de Joule-Thomson (μ_{JT}) de cero (un valor negativo produce un incremento de temperatura tras una reducción de presión). El uso de la válvula 158 permite por lo tanto un incremento $LM\Delta T$ y así el intercambiador de calor 156" se puede hacer más pequeño y por lo tanto, menos costoso que los intercambiadores de calor 156 y 156', analizados anteriormente. Además, el intercambio de calor da como resultado una evaporación parcial de la corriente en fase líquida 154 para producir una corriente de dos fases 160 que se introduce en la columna de presión más baja 30 en un lugar por debajo del de la segunda corriente de oxígeno líquido bruto secundaria 140 para proporcionar vapor de separación de nitrógeno adicional e incrementar de este modo la capacidad de separación de la columna de presión más baja 30. La segunda corriente de líquido subenfriado 152" resultante se expande con válvula en la válvula de expansión 154 y se introduce en la columna de presión más baja 30 como en los otros modos de realización, analizados anteriormente.

20 La figura 5 ilustra una separación de aire 1^{iv} no de acuerdo con la presente invención pero similar a la planta de separación de aire 1" mostrada en la figura 3. Sin embargo, en la planta de separación de aire 1^{iv}, se extrae una primera corriente de líquido 162 desde la columna de presión más baja 30 que tendría una composición similar a la corriente en fase líquida 146, mostrada en la figura 1. La primera corriente de líquido 162 se expande con válvula en el interior de una válvula de expansión 164 y se vaporiza parcialmente en el interior de un intercambiador de calor dedicado 156" mediante intercambio de calor indirecto con la segunda corriente de líquido 64'. La primera corriente de líquido 162 se introduce luego en el condensador de argón 116 donde se vaporiza más. Como se ilustra, las corrientes de fase líquida y de vapor 146 y 148 se introducen en la columna de presión más baja 30 a un nivel de la misma en el que se extrae la primera corriente de líquido 162 aunque el punto de introducción de dichas corrientes podría estar por debajo de dicho nivel. En consecuencia, toda la corriente de oxígeno líquido bruto 68, después de haberse subenfriado en el interior de la unidad de subenfriamiento 70, se expande con válvula en el interior de una
35 válvula de expansión 166 y se introduce en la columna de presión más baja 30 para más refinación y se introduce la corriente de líquido subenfriado 152" resultante en la columna de presión más baja 30 por encima de la corriente de oxígeno líquido bruto 68.

40 Aunque la presente invención se ha descrito con referencia a modos de realización preferidos, como se les ocurriría a los expertos en la técnica, se podrían hacer numerosos cambios, adiciones y omisiones sin apartarse del alcance de la invención como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de separación de aire que comprende:

5 realizar un proceso de rectificación criogénica que comprende destilar aire comprimido y purificado (16), formado al comprimir el aire y luego purificar el aire en el interior de una unidad de purificación (14), el aire comprimido y purificado (16) se enfría en un intercambiador de calor principal (22) y se destila para dar al menos una fracción rica en nitrógeno y una fracción rica en oxígeno en el interior de una unidad de columna de destilación (26) que tiene al menos una columna de presión más alta (28) y una columna de presión más baja (30), estando la columna de presión más baja (30) asociada operativamente a la columna de presión más alta (28) en una relación de transferencia de calor y conectada a la columna de presión más alta (28) de manera que un producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) producido en la columna de presión más alta (28) se introduce en y se refina más en la columna de presión más baja (30); y

15 realizándose el proceso de rectificación criogénica de manera que se producen una primera corriente de líquido (138) y una segunda corriente de aire líquido (64) que contienen oxígeno y nitrógeno, la primera corriente de líquido compuesta por el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) de la columna de presión más alta (28) y teniendo la segunda corriente de aire líquido (64) un contenido en oxígeno más bajo que la primera corriente de líquido;

y un contenido en argón no menor que el aire comprimido y purificado (16) después de su purificación en la unidad de purificación (14);

caracterizado por que el procedimiento comprende además:

20 subenfriar la segunda corriente de aire líquido (64) mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido (138) en un intercambiador de calor dedicado (116, 156) distinto del intercambiador de calor principal; e

25 introducir la segunda corriente de aire líquido subenfriado (152) en la columna de presión más baja (30) en un lugar de columna por encima de aquel en el que el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) o cualquier porción del mismo se introduce en la columna de presión más baja (30) para incrementar una proporción de líquido a vapor en el interior de la columna de presión más baja por debajo del lugar de columna en el que se introduce la segunda corriente de aire líquido subenfriado y para incrementar la recuperación de oxígeno de la unidad de columna de destilación (26).

2. El procedimiento de separación de aire de la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:

30 introducir una corriente de vapor que contiene oxígeno y argón (114) de la columna de presión más baja (30) en una columna de argón (32);

separar el argón del oxígeno en la corriente de vapor que contiene oxígeno y argón (114) en el interior de la columna de argón (32) para producir una corriente de fracción rica en argón (115);

condensar la corriente de fracción rica en argón (115) en un condensador de argón (116) configurado para producir un producto de argón (128) y reflujo (122) a la columna de argón (32);

35 en el que la etapa de introducir la segunda corriente de aire líquido subenfriado (152) en la columna de presión más baja (30) reduce el argón en el interior del producto de cabeza de columna de la columna de presión más baja para incrementar una tasa a la que la corriente de vapor que contiene oxígeno y argón (114) se puede extraer de la columna de presión más baja e incrementar la recuperación de argón; y

40 en el que el proceso de rectificación criogénica se realiza de manera que una corriente de oxígeno líquido bruto (68) compuesta por el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) de la columna de presión más alta (28) se subenfria y constituye el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto que se introduce en y se refina más en la columna de presión más baja (30); y

45 en el que el proceso de rectificación criogénica se realiza para producir una corriente de líquido bombeado (102), y al menos parte (104) de la corriente de líquido bombeado se calienta mediante intercambio de calor indirecto con una corriente de aire de presión elevada (53), para producir de este modo una corriente de producto presurizado (106) a partir de la corriente de líquido bombeado (102) y la segunda corriente de aire líquido (64) a partir de una porción de la corriente de aire de presión elevada (53).

3. El procedimiento de separación de aire de la reivindicación 2, en el que:

la primera corriente de líquido (138) se forma a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto (68);

50 una parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30);

la segunda corriente de aire líquido (64) se forma a partir de al menos parte de la corriente de aire de presión elevada (53);

la primera corriente de líquido (138) se expande con válvula antes de subenfriar la segunda corriente de aire líquido (64); y

5 la segunda corriente de aire líquido subenfriado (152) se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30) por encima de la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68).

4. El procedimiento de separación de aire de la reivindicación 3, que comprende además las etapas de:

10 introducir la primera corriente de líquido (138) después de haberse expandido con válvula en el condensador de argón (116), en el que el condensador de argón (116) es el intercambiador de calor dedicado distinto configurado para subenfriar la segunda corriente de aire líquido (64);

producir una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148) a partir de la primera corriente de líquido (138) intercambiando calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón (115) y la segunda corriente de aire líquido (64) en el interior del condensador de argón (116) condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y subenfriando la segunda corriente de aire líquido (64); e

15 introducir la corriente en fase líquida (146) y la corriente en fase de vapor (148) en la columna de presión más baja (30).

5. El procedimiento de separación de aire de la reivindicación 3, en el que:

20 la segunda corriente de aire líquido (64) se subenfriará mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido (138) en el interior de un subenfriador (156), después de que la primera corriente de líquido (138) se haya expandido con válvula;

la primera corriente de líquido (138) después de haber pasado por el subenfriador (156) se introduce en el condensador de argón (116) e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón (115), condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (138); y

25 una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148) compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja (30).

6. El procedimiento de separación de aire de la reivindicación 2, en el que:

la primera corriente de líquido (138) se forma a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto (68);

30 una parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30);

una corriente de aire líquido (60) se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más alta (28);

la segunda corriente de aire líquido (64') se retira de la columna de presión más alta (28) a un nivel de columna en el que la corriente de aire líquido (60) se introduce en la columna de presión más alta (28);

35 la segunda corriente de aire líquido (64') se subenfriará mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido (138) después de haberse expandido con válvula en el interior de un intercambiador de calor (156');

la segunda corriente de aire líquido (152") después de haberse subenfriado se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30) por encima de la parte restante (140) del oxígeno líquido bruto (68);

40 la primera corriente de líquido (138) después de haber pasado por el intercambiador de calor (156') se introduce en el condensador de argón (116) e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón (115), condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (138); y

una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148) compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja (30).

45 7. El procedimiento de separación de aire de la reivindicación 2, en el que:

parte de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula y luego se introduce en el condensador de argón (116) e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón (115), condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (138);

una parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30);

una corriente en fase de vapor (148) compuesta por la fase de vapor se introduce en la columna de presión más baja (30);

5 la primera corriente de líquido (160) está formada por una corriente en fase líquida (146) compuesta por la fase líquida;

la segunda corriente de aire líquido (64) se forma a partir de al menos parte de una corriente de aire líquido (60);

la segunda corriente de aire líquido (64) se expande con válvula y se subenfria mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente en fase líquida (146) en un intercambiador de calor (156"); y

10 la segunda corriente de aire líquido (152"), después de haberse subenfriado, se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30) por encima de la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68).

8. El procedimiento de separación de aire de la reivindicación 2, en el que:

una corriente de aire líquido (60) se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más alta (28);

15 la segunda corriente de aire líquido (64') se retira de la columna de presión más alta (28) en o por debajo de un nivel de columna de presión más alta en el que la corriente de aire líquido (60) se introduce en la columna de presión más alta (28);

20 la primera corriente de líquido (162) se retira de la columna de presión más baja (30), se expande con válvula e intercambia calor indirectamente con la segunda corriente de líquido (64') en el interior de un intercambiador de calor (156"), para subenfriar de este modo la segunda corriente de aire líquido (64');

la primera corriente de líquido (162) se hace pasar del intercambiador de calor (156") al condensador de argón (116) e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón (115), condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (162);

25 una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148), compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, se introducen en la columna de presión más baja (30) en o por debajo de un nivel de columna de presión más baja en el que la primera corriente de líquido (162) se retira de la columna de presión más baja (30); y

30 la segunda corriente de aire líquido (152"), después de haberse subenfriado, se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30) en el lugar de columna que está ubicado por encima de la introducción de la corriente de producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (68).

9. Un aparato de separación de aire (1), que comprende:

35 una planta de rectificación criogénica que comprende una unidad de columna de destilación (26) que tiene al menos una columna de presión más alta (28) y una columna de presión más baja (30) configuradas para destilar aire comprimido y purificado (16), formado al comprimir el aire y luego purificar el aire en el interior de una unidad de purificación (14), el aire comprimido y purificado (16) se enfría en un intercambiador de calor principal (22) y se destila para dar al menos una fracción rica en nitrógeno y una fracción rica en oxígeno, la columna de presión más baja (30) asociada operativamente a la columna de presión más alta (28) en una relación de transferencia de calor y conectada a la columna de presión más alta (30) de manera que un producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) producido en la columna de presión más alta (28) se introduce en y se refina más en la columna de presión más baja (30); y

45 la planta de rectificación criogénica que tiene el medio para producir una primera corriente de líquido (138) compuesta por el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) de la columna de presión más alta (28), el medio para producir una segunda corriente de aire líquido (64), la primera corriente de líquido y la segunda corriente de aire líquido (64) que contienen oxígeno y nitrógeno, teniendo la segunda corriente de aire líquido (64) un contenido en oxígeno más bajo que la primera corriente de líquido (138);

y un contenido en argón no menor que el aire comprimido y purificado (16) después de su purificación en la unidad de purificación (14);

caracterizado por que el aparato comprende además:

50 un primer medio (70) para subenfriar el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) que se va a refinar más en la columna de presión más baja (30) y un intercambiador de calor dedicado (116) distinto del

intercambiador de calor principal (22) para subenfriar la segunda corriente de aire líquido (64) mediante intercambio de calor indirecto con la primera corriente de líquido (138); y

5 el intercambiador de calor dedicado (116) conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que la segunda corriente de aire líquido (64) se introduce como una corriente de líquido (152) en la columna de presión más baja (30) en un lugar de columna por encima de aquel en el que el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) o cualquier porción del mismo se introduce en la columna de presión más baja (30) para incrementar una proporción de líquido a vapor en el interior de la columna de presión más baja por debajo del lugar de columna en el que se introduce la segunda corriente de aire líquido subenfriado (64) y para incrementar la recuperación de oxígeno de la unidad de columna de destilación (26).

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

15 la planta de rectificación criogénica tiene una bomba (100) conectada a la unidad de separación de aire de manera que al menos parte de una corriente rica en componentes (98), enriquecida en un componente del aire, se bombea para formar una corriente de líquido bombeado (102) y el intercambiador de calor principal (22) está conectado a la unidad de separación de aire para enfriar el aire (16) y calentar al menos parte de la corriente de líquido bombeado (102) mediante intercambio de calor indirecto con una corriente de aire de presión elevada (53), para producir de este modo una corriente de producto presurizado (106) a partir de la corriente de líquido bombeado (102) y la segunda corriente de aire líquido (64) a partir de la corriente de aire de presión elevada (53);

20 el primer medio de subenfriamiento (70) está configurado para subenfriar una corriente de oxígeno líquido bruto (68) compuesta por el producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (50) que se va a refinar más en la columna de presión más baja (30); y

25 la unidad de columna de destilación tiene una columna de argón (32) conectada a la columna de presión más baja (30) de manera que se introduce una corriente de vapor que contiene oxígeno y argón (114) en la columna de argón (32) y se separa el argón del oxígeno para producir una corriente de vapor rico en argón (115) y un condensador de argón (116) configurado para condensar la corriente de vapor rico en argón (115), devolver el reflujo de columna (122) a la columna de argón (32) y producir una corriente de producto de argón (128).

11. El aparato de separación de aire de la reivindicación 10, en el que:

el segundo medio de subenfriamiento (116) está conectado al primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la primera corriente de líquido (138) se forma a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) y al medio de intercambio de calor principal (22);

30 el primer medio de subenfriamiento (70) está conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que se introduce una parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) en la columna de presión más baja (30);

35 la columna de presión más baja (30) está conectada al segundo medio de subenfriamiento (116) de manera que la segunda corriente de aire líquido (152) se introduce en la columna de presión más baja (30) por encima de la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68); y

40 la primera, segunda y tercera válvulas de expansión (150, 142, 154) situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja (30) y el primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja (30); el segundo medio de subenfriamiento (116) y el primer medio de subenfriamiento (70) de manera que una primera corriente de oxígeno líquido bruto secundaria (138) se expande con válvula antes de su entrada en el segundo medio de subenfriamiento (116); y entre el segundo medio de subenfriamiento (116) y la columna de presión más baja (30) de manera que la segunda corriente de aire líquido (152) se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja (30).

12. El aparato de separación de aire de la reivindicación 11, en el que:

45 el intercambiador de calor dedicado es el condensador de argón (116), el condensador de argón (116) configurado de manera que la primera corriente de líquido (138) se introduce en el condensador de argón e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón (115) y la segunda corriente de aire líquido (64) condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115), subenfriando la segunda corriente de aire líquido (64) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (138); y

50 el condensador de argón (116) conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que se introduce una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148) compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, en la columna de presión más baja (30).

13. El aparato de separación de aire de la reivindicación 11, en el que:

el segundo medio de subenfriamiento es un intercambiador de calor (156);

- 5 el condensador de argón (116') está conectado al intercambiador de calor (156) de manera que la primera corriente de líquido (138) después de haber pasado por el intercambiador de calor se introduce en el condensador de argón (116') e intercambia calor indirectamente con una corriente de vapor rico en argón (115) producida como cabeza de columna de la columna de argón (32) condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (138); y
- el condensador de argón (116') está conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que se introduce una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148) compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, en la columna de presión más baja (30).
14. El aparato de separación de aire de la reivindicación 10, en el que:
- 10 el segundo medio de subenfriamiento es un intercambiador de calor (156') conectado al primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la primera corriente de líquido (138) se forma a partir de parte de la corriente de oxígeno líquido bruto (68);
- el primer medio de subenfriamiento (70) está conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que una parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula y se introduce en la columna de presión más baja (30);
- 15 la columna de presión más alta (28) está conectada al medio de intercambio de calor principal (22) de manera que se introduce una corriente de aire líquido (60) en la columna de presión más alta (28);
- el intercambiador de calor (156') está conectado a la columna de presión más alta (28) de manera que la segunda corriente de aire líquido (64') se retira de la columna de presión más alta (28) a un nivel de columna en el que la corriente de aire líquido (60) se introduce en la columna de presión más alta (28);
- 20 la columna de presión más baja (30) está conectada al intercambiador de calor (156') de manera que la segunda corriente de aire líquido (152") después de haberse subenfriado se introduce en la columna de presión más baja (30) por encima de la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68);
- el condensador de argón (116) está conectado al intercambiador de calor (156') de manera que la primera corriente de líquido (138) después de haber pasado por el intercambiador de calor (156') se introduce en el condensador de argón (116) e intercambia calor indirectamente con la corriente de vapor rico en argón (115) condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (138);
- 25 el condensador de argón (116) está conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que se introduce una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148) compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, en la columna de presión más baja (30); y
- la primera, segunda, tercera y cuarta válvulas de expansión (150, 142, 154, 66) situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja (30) y el primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja (30); el intercambiador de calor (156') y el primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la primera corriente de líquido (138) se expande con válvula antes de su entrada en el intercambiador de calor (156'); entre el intercambiador de calor (156') y la columna de presión más baja (30) de manera que la segunda corriente de aire líquido (152") se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja (30); y entre el medio de intercambio de calor principal (22) y la columna de presión más alta (28) de manera que la corriente de aire líquido (60) se expande antes de su entrada en la columna de presión más alta (28).
- 35 40
15. El aparato de separación de aire de la reivindicación 10, en el que:
- el condensador de argón (116) está conectado al primer medio de subenfriamiento (70) de manera que parte (138) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se introduce en el condensador de argón (116) e intercambia calor indirectamente con una corriente de vapor rico en argón (115) condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (138);
- 45 la columna de presión más baja (30) está conectada al primer medio de subenfriamiento (70) de manera que se introduce una parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) en la columna de presión más baja (30);
- el condensador de argón (116) está conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que se introduce una corriente en fase de vapor (148) compuesta por la fase de vapor en la columna de presión más baja (30);
- 50 el segundo medio de subenfriamiento es un intercambiador de calor (156") conectado al condensador de argón (116) de manera que la primera corriente de líquido (160) está formada por una corriente en fase líquida (146) compuesta por la fase líquida y también al medio de intercambio de calor principal (22) de manera que la segunda corriente de aire líquido (64) se forma a partir de al menos parte de una corriente de aire líquido (60);

la columna de presión más baja (30) está conectada al intercambiador de calor (156") de manera que la segunda corriente de aire líquido (152"), después de haberse subenfriado, se introduce en la columna de presión más baja (30) por encima de la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68); y

5 la primera, segunda, tercera y cuarta válvulas de expansión (150, 142, 154, 158) situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja (30) y el primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la parte restante (140) de la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja (30); el condensador de argón (116) y el primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la primera corriente de líquido (138) se expande con válvula antes de su entrada en el condensador de argón (116);
 10 entre el intercambiador de calor (156") y la columna de presión más baja (30) de manera que la segunda corriente de aire líquido (152") se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja (30); y entre el medio de intercambio de calor principal (22) y el medio de intercambio de calor (156") de manera que la al menos parte (64) de la corriente de aire líquido (60) se expande antes de su entrada en el intercambiador de calor (156").

16. El aparato de separación de aire de la reivindicación 10, en el que:

15 el medio de intercambio de calor principal (22) está conectado a la columna de presión más alta (28) de manera que se introduce una corriente de aire líquido (60) en la columna de presión más alta (28);

20 el segundo medio de subenfriamiento es un intercambiador de calor (156") conectado a la columna de presión más alta (28) y a la columna de presión más baja (30) de manera que la segunda corriente de aire líquido (64) se retira de la columna de presión más alta (28) en o por debajo de un nivel de columna de presión más alta del mismo en el que la corriente de aire líquido (60) se introduce en la columna de presión más alta (28), la primera corriente de líquido (162) se retira de la columna de presión más baja (30), y la segunda corriente de aire líquido (152"), después de haberse subenfriado se introduce en la columna de presión más baja (30) por encima de la introducción de la corriente de producto de fondo de columna de oxígeno líquido bruto (68);

25 el condensador de argón (116) está conectado al intercambiador de calor (156") de manera que la primera corriente de líquido (162) se hace pasar del intercambiador de calor (156") al condensador de argón (116) e intercambia calor indirectamente con una corriente de vapor rico en argón (115), condensando de este modo la corriente de vapor rico en argón (115) y produciendo una fase líquida y una fase de vapor a partir de la primera corriente de líquido (162);

30 el condensador de argón (116) está conectado a la columna de presión más baja (30) de manera que se introduce una corriente en fase líquida (146) y una corriente en fase de vapor (148), compuestas por la fase líquida y la fase de vapor, respectivamente, en la columna de presión más baja (30) en o por debajo de un nivel de columna de presión más baja en el que se retira la primera corriente de líquido (162) de la columna de presión más baja (30); y

35 la primera, segunda, tercera y cuarta válvulas de expansión (166, 142, 154, 66) situadas respectivamente: entre la columna de presión más baja (30) y el primer medio de subenfriamiento (70) de manera que la corriente de oxígeno líquido bruto (68) se expande con válvula antes de su introducción en la columna de presión más baja (30); el intercambiador de calor (156") y la columna de presión más baja (30) de manera que la primera corriente de líquido (162) se expande con válvula antes de su entrada en el intercambiador de calor (156"); entre el intercambiador de calor (156") y la columna de presión más baja (30) de manera que la segunda corriente de líquido (152") se expande con válvula antes de introducirse en la columna de presión más baja (30); y entre el medio de intercambio de calor principal (22) y la columna de presión más alta (28) de manera que la al menos parte de la corriente de aire líquido (60) se expande con válvula antes de su entrada en la columna de alta presión (28).

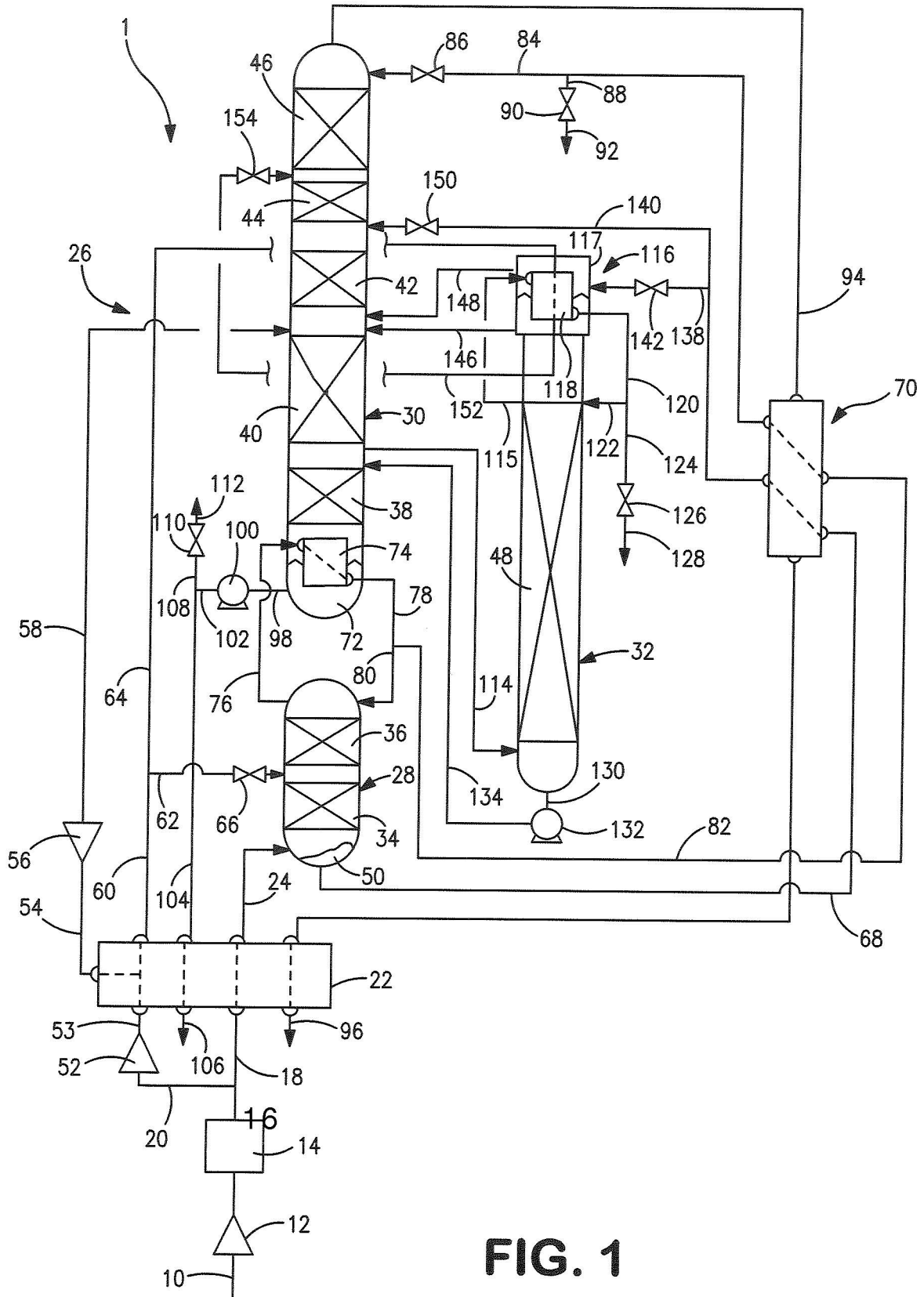


FIG. 1

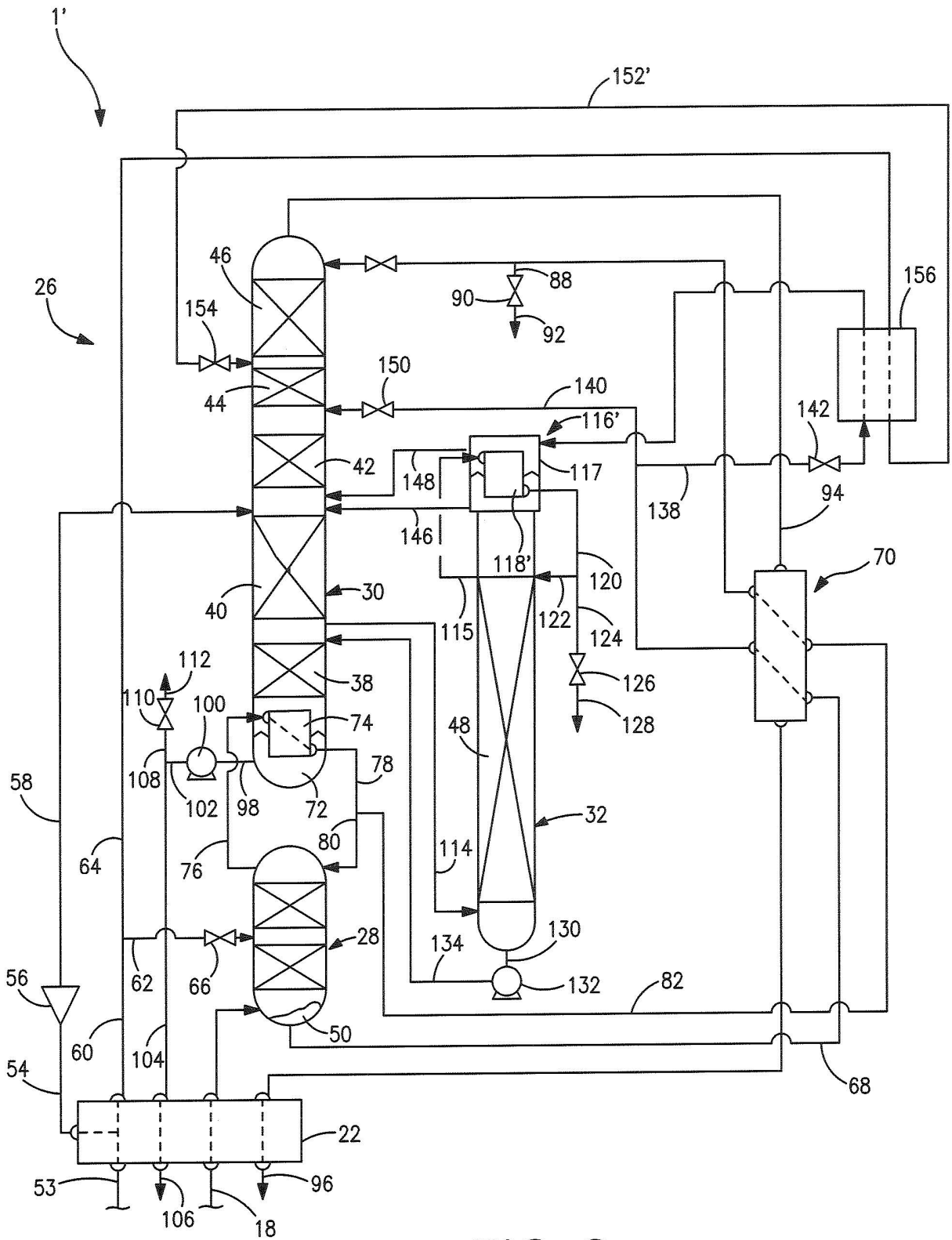


FIG. 2

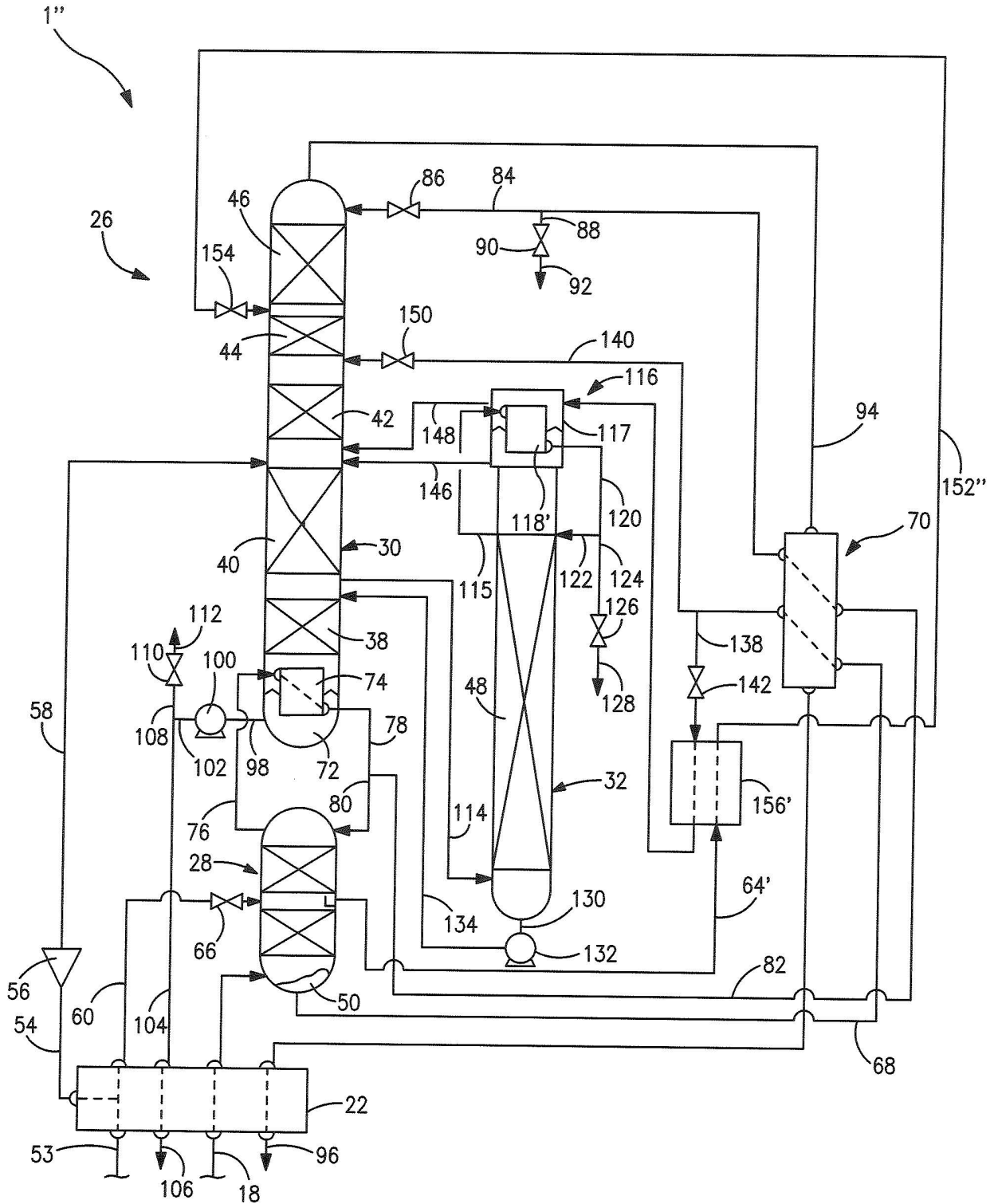


FIG. 3

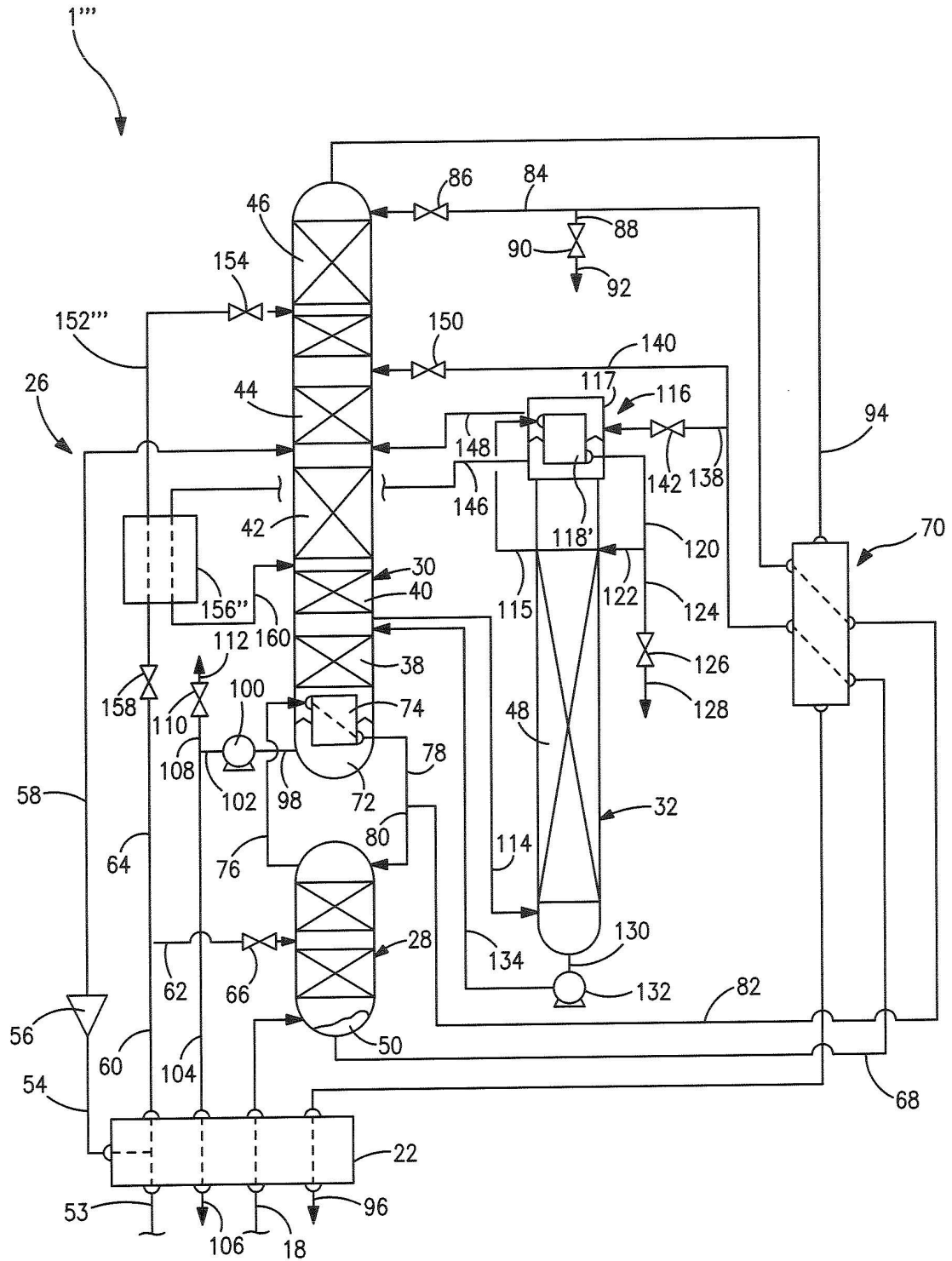


FIG. 4

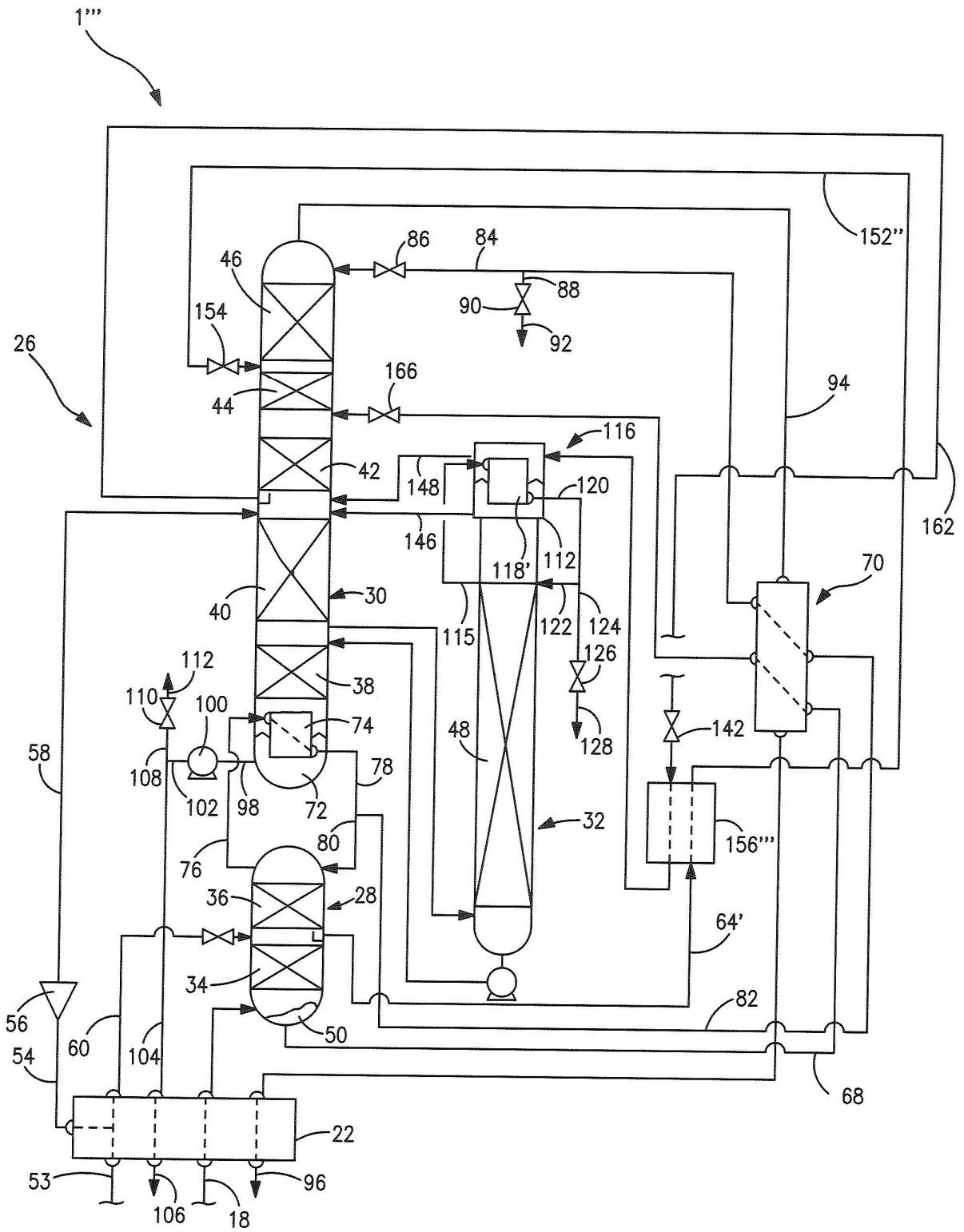


FIG. 5