

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 468**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.04.2010 PCT/US2010/030870**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2010 WO10147698**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2010 E 10714775 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2443406**

54 Título: **Procedimiento y aparato para la producción de un producto presurizado**

30 Prioridad:

16.06.2009 US 485235

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

11.02.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HOWARD, HENRY, EDWARD;
JIBB, RICHARD, JOHN;
PARSNICK, DAVID, ROSS y
SKARE, TODD, ALAN**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 699 468 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 para la producción de un producto presurizado

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un procedimiento y aparato para producir un flujo de producto presurizado mediante rectificación criogénica en el que el flujo de producto se forma a partir de un flujo de producto bombeado compuesto de líquido rico en oxígeno o rico en nitrógeno que se calienta dentro de un intercambiador de calor principal que se utiliza en relación con la rectificación criogénica. Más particularmente aún, la presente invención se refiere a dicho procedimiento y aparato en el que el producto bombeado se calienta dentro de capas del intercambiador de calor que está diseñado tanto para calentar el producto líquido bombeado como para calentar o enfriar otro flujo.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El oxígeno se separa de sistemas de alimentación que contienen oxígeno, tal como el aire, a través de la rectificación criogénica. En la rectificación criogénica, el sistema de alimentación se comprime, si no se obtiene en estado presurizado, se purifica de contaminantes y posteriormente, se enfría en un intercambiador de calor principal a una temperatura adecuada para su rectificación. La fuente enfriada se introduce, seguidamente, en un sistema de columna de destilación que tiene columnas de alta y baja presión en las que el nitrógeno se separa del oxígeno para producir flujos de producto rico en oxígeno y nitrógeno que se calientan dentro del intercambiador de calor principal para ayudar a enfriar el sistema de alimentación entrante. Como bien se conoce en la técnica, puede proporcionarse también una columna de argón que recibe un flujo rico en argón desde la columna de baja presión y que separa el argón del oxígeno para producir un producto que contiene argón.

El oxígeno que se separa del sistema de alimentación puede tomarse como un producto líquido que puede ser producido en la columna de baja presión como un fondo de columna líquida rico en oxígeno. El producto líquido puede tomarse adicionalmente de parte del líquido rico en nitrógeno utilizado en el reflujo de las columnas. Como se conoce en la técnica, el producto líquido de oxígeno puede bombearse y luego en parte, tomarse como un producto líquido presurizado y también, calentarse en el intercambiador de calor principal para producir un producto de oxígeno como un vapor o como un fluido supercrítico dependiendo del grado en que el oxígeno es presurizado por el bombeo. El nitrógeno líquido puede bombearse igualmente y tomarse como un producto líquido presurizado, vapor a alta presión o fluido supercrítico. Para calentar el flujo que contiene oxígeno en el intercambiador de calor principal, parte del sistema de alimentación se puede comprimir, enfriar y expandir aún más en un líquido. El líquido puede introducirse en una o en ambas columnas de alta y baja presión.

En el documento US 6 053 008 A, se describe un procedimiento para producir un flujo de producto presurizado, en cuyo procedimiento un flujo de alimentación que contiene oxígeno y nitrógeno se rectifica mediante un proceso de rectificación criogénica a través de un intercambiador de calor principal y un sistema de columna de destilación asociado operativamente al intercambiador de calor principal, donde además se bombea un flujo de producto extraído del sistema de columna de destilación y compuesto de líquido rico en oxígeno o líquido rico en nitrógeno para producir un flujo de producto bombeado.

Para operar una planta de rectificación criogénica, se debe suministrar refrigeración para compensar la fuga de calor ambiental, las pérdidas de intercambio de calor del extremo caliente y permitir la producción de productos líquidos. La refrigeración se suministra, generalmente, mediante la expansión de parte del aire o un flujo residual desde la columna de baja presión dentro de un turboexpansor para generar un flujo de escape frío. El flujo de escape frío se introduce luego en la columna de destilación o en el intercambiador de calor principal. La refrigeración externa también puede ser inducida por flujos de refrigerante introducidos en el intercambiador de calor principal. La refrigeración también puede ser generada a través de ciclos de refrigeración externa de circuito cerrado.

El intercambiador de calor principal está formado generalmente por una estructura de aletas de placa de aluminio con soldadura fuerte. En dicho intercambiador de calor, las capas que contienen aletas definidas entre las láminas de separación forman los conductos para el intercambio indirecto de calor entre los flujos entrantes y los flujos de retorno producidos en las columnas de destilación. Por ejemplo, se proporcionan capas para intercambiar calor indirectamente entre un flujo líquido rico en oxígeno que se ha bombeado y parte del flujo de alimentación cuya presión ha sido aumentada por un compresor impulsor. El intercambiador de calor principal puede formarse a partir de varias de dichas unidades y puede separarse además en intercambiadores de calor de alta presión para calentar el flujo rico en oxígeno bombeado y en intercambiadores de calor de baja presión para enfriar el remanente del sistema de alimentación entrante. En cualquier caso, el coste de dichos intercambiadores de calor representa un coste significativo de la planta de rectificación criogénica y generalmente, el precio de un intercambiador de calor particular se basa en su volumen.

Cuando el aire se expande para proporcionar la refrigeración, parte del aire, después de comprimido y purificado, se comprime aún más en un compresor impulsor, se enfría parcialmente dentro del intercambiador de calor principal y

luego, se expande en un turboexpansor acoplado al compresor impulsor. Esta disposición se conoce en la técnica como compresor de turbina de carga impulsora.

Tal como se describirá, la presente invención proporciona un procedimiento para producir un producto de oxígeno mediante rectificación criogénica o un aparato para realizar dicha rectificación criogénica con el objeto de producir oxígeno a alta presión en el que el intercambiador de calor pueda fabricarse de una manera más compacta que la contemplada en la técnica anterior o alternativamente, en el que para un tamaño determinado de intercambiador de calor, los flujos volumétricos más altos puedan llevarse a una relación de intercambio de calor indirecta. Además, dicho intercambiador de calor puede integrarse para aceptar un flujo de refrigerante externo para aumentar la producción de productos líquidos en el caso de que la planta produzca los mismos.

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención, en un aspecto, proporciona un procedimiento para producir un flujo de producto presurizado como se define en la reivindicación 1.

Se debe tener en cuenta que, aunque las reivindicaciones se dirigen a un procedimiento de producción de un flujo de producto presurizado, no se pretende que la presente invención se limite a un proceso de rectificación criogénica o a una planta que emplee dicho proceso en el que se produce solo un flujo de producto presurizado, ya que podría aplicarse el procedimiento para producir un flujo de producto rico en nitrógeno o un flujo de producto rico en oxígeno o ambos simultáneamente. Además, el término "intercambiador de calor principal" tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones incluye una de dichas unidades o varias de dichas unidades conectadas en paralelo. Un principio sobre el que se basa la presente invención se refiere al hecho de que se necesita más calor para calentar el flujo de oxígeno líquido bombeado a su temperatura crítica si se desea un fluido supercrítico o a la temperatura de punto de rocío si se desea que un producto de vapor caliente posteriormente cualquiera de dichos flujos a la temperatura final caliente del intercambiador de calor principal. En la técnica anterior, sin embargo, las capas dentro del intercambiador de calor principal que se utilizan para calentar el flujo de oxígeno líquido bombeado están diseñadas para calentar los flujos secundarios de las mismas desde la entrada de la temperatura final fría del flujo de oxígeno líquido bombeado a la temperatura final caliente del intercambiador de calor principal. En consecuencia, no toda el área de transferencia de calor proporcionada por las capas en dicho intercambiador de calor de la técnica anterior se utiliza de manera eficiente, porque hay menos capacidad de transferencia de calor en el calentamiento de los flujos secundarios a partir de la temperatura crítica o la temperatura de punto de rocío a la temperatura ambiente. En la presente invención, sin embargo, al superarse la temperatura crítica o la temperatura de punto de rocío, los flujos secundarios se combinan dejando regiones disponibles dentro de las capas para calentar o enfriar otro flujo. De esta manera, el intercambiador de calor puede fabricarse de una manera más compacta que con la técnica anterior, trayendo como resultado ahorros sustanciales en los costes de adquisición de dicho intercambiador de calor. Además, tal como se describirá, hay otras operaciones ventajosas que se ponen a disposición mediante dicha configuración en relación con la producción de productos líquidos.

Las capas del intercambiador de calor principal incluyen un primer conjunto de capas y un segundo conjunto de capas, teniendo el primer conjunto de capas y el segundo conjunto de capas primeras secciones y segundas secciones. Los flujos secundarios compuestos por al menos parte del flujo de producto bombeado se introducen en las primeras secciones del primer conjunto de capas y del segundo conjunto de capas. Los flujos secundarios, después de calentarse dentro de las primeras secciones, se combinan y se introducen en las segundas secciones del primer conjunto de capas como flujos secundarios combinados. Los flujos secundarios combinados se siguen calentando dentro de las segundas secciones del primer conjunto de capas y el flujo de producto presurizado se compone de los flujos secundarios combinados después de calentarse aún más en las segundas secciones del primer conjunto de capas. Las regiones para calentar o enfriar el otro flujo asociado al proceso de destilación criogénica están formadas por las segundas secciones del segundo conjunto de capas.

Se puede producir al menos un producto líquido mediante el sistema de columna de destilación y el otro flujo es un flujo de refrigerante que se calienta dentro del intercambiador de calor principal para aumentar la producción de al menos un producto líquido. En dicha realización, los flujos de refrigerante secundarios compuestos por el flujo de refrigerante se introducen en o se calientan dentro de las segundas secciones del segundo conjunto de capas. El flujo de refrigeración puede producirse en un ciclo de refrigeración de circuito cerrado. Dicho ciclo puede incluir la compresión del flujo de refrigerante después de calentarse en el intercambiador de calor principal, la compresión adicional del flujo de refrigerante y posteriormente la expansión del flujo de refrigerante en una turbina para formar un flujo de escape que se introduce en la segunda sección del segundo conjunto de capas.

El flujo de producto extraído de la columna de destilación puede estar compuesto del líquido rico en oxígeno. El proceso de rectificación criogénica puede incluir la compresión y purificación del flujo de alimentación para producir un flujo de alimentación comprimido y purificado. El flujo de alimentación comprimido y purificado se divide en un primer flujo comprimido y en un segundo flujo comprimido. El primer flujo comprimido se comprime aún más y luego, es enfriado completamente en el intercambiador de calor principal para formar un flujo líquido. En este sentido, el término "enfriado completamente" tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones significa que es enfriado a una **temperatura final fría** del intercambiador de calor principal. El flujo líquido puede expandirse e

introducirse en al menos una columna de alta presión y en una columna de baja presión. La columna de baja presión se asocia operativamente a la columna de alta presión de modo que el vapor rico en nitrógeno producido como cabeza de columna de alta presión en la columna de alta presión se condensa para formar el reflujo de la columna de alta presión y la columna de baja presión contra la vaporización de un fondo de columna líquida rico en oxígeno de la columna de baja presión. Esto forma el líquido rico en oxígeno a partir del líquido residual dentro de la columna de baja presión y un líquido de fondo de columna de alta presión rico en oxígeno en la columna de alta presión que se refina aún más en la columna de baja presión. El segundo flujo comprimido se comprime aún más, se enfría parcialmente dentro del intercambiador de calor principal y se expande en un turboexpansor para formar un flujo de escape. En este sentido, el término "se enfría parcialmente" significa que se enfría a una temperatura que se encuentra entre la temperatura final caliente y fría del intercambiador de calor principal. El flujo de escape se introduce en la columna de alta presión. Un flujo de cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno de baja presión y un flujo residual de nitrógeno impuro extraídos de la columna de baja presión se introducen en el intercambiador de calor principal para ayudar a enfriar el flujo de alimentación después de la compresión y purificación del mismo a la temperatura adecuada para su rectificación. Al menos un producto líquido se forma a partir de al menos una parte residual del flujo de oxígeno líquido bombeado o de un flujo líquido rico en nitrógeno que se forma a partir de una porción del vapor rico en nitrógeno que se condensa y no se utiliza como reflujo.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato para producir un flujo de producto presurizado como se define en la reivindicación 7.

Las capas comprenden un primer conjunto de capas y un segundo conjunto de capas que tienen cada uno primeras secciones y segundas secciones. Dichas capas están configuradas de modo que los flujos secundarios, compuestos de al menos parte del producto bombeado, se calientan dentro de las primeras secciones y se combinan en las conexiones entre las primeras secciones y forman flujos secundarios combinados. Las segundas secciones del primer conjunto de capas están en comunicación de flujo con las primeras secciones de modo que los flujos secundarios combinados se calientan aún más dentro de las segundas secciones y forman el flujo de producto presurizado. Las regiones son las segundas secciones del segundo conjunto de capas.

La planta de rectificación criogénica puede configurarse para producir al menos un producto líquido y el otro flujo es un flujo de refrigeración que se calienta dentro del intercambiador de calor principal para aumentar la producción de al menos un producto líquido. En dicha realización, los flujos de refrigeración secundarios compuestos por el flujo de refrigeración se calientan dentro de las segundas secciones del segundo conjunto de capas.

La planta de rectificación criogénica también puede estar provista de un sistema de refrigeración conectado al intercambiador de calor y configurado para producir el flujo de refrigeración y para circular el flujo de refrigerante a través de las segundas secciones del primer conjunto de capas. El sistema de refrigeración puede incorporar un ciclo de refrigeración de circuito cerrado. Además, la planta de rectificación criogénica puede incluir un compresor principal para comprimir el flujo de alimentación y el sistema de refrigeración puede contener una válvula operable para ser configurada en una posición abierta y ser ubicada para recibir parte del flujo de alimentación después de la compresión. En dicha realización, el flujo de refrigeración se forma a partir del flujo de alimentación que de este modo sirve como estructura del flujo de refrigeración. El sistema de refrigeración puede tener un compresor de recirculación conectado al intercambiador de calor principal y en comunicación de flujo con las segundas secciones del primer conjunto de las capas, de manera que el flujo de refrigerante, después de calentarse en el intercambiador de calor principal, se comprima en el compresor de recirculación, un compresor impulsor comprenda además el flujo de refrigerante y una turbina conectada entre el compresor impulsor y la ubicación del intercambiador de calor principal, de manera que un flujo de escape fluya desde el compresor impulsor a las segundas secciones del primer conjunto de capas.

El flujo de producto extraído del sistema de columna de destilación puede estar compuesto del líquido rico en oxígeno. La planta de rectificación criogénica puede comprender el sistema de rectificación criogénica que incluye una columna de baja presión asociada operativamente a una columna de alta presión, de manera que el vapor rico en nitrógeno producido como cabeza de columna de alta presión se condense para formar el reflujo de la columna de alta presión y la columna de baja presión contra la vaporización de un fondo de columna líquida rico en oxígeno de la columna de baja presión. En dicho caso, el líquido rico en oxígeno se forma a partir del líquido residual dentro de la columna de baja presión y el líquido de fondo de columna de alta presión rico en oxígeno se refina aún más en la columna de baja presión.

Un compresor principal se conecta a una unidad de purificación para comprimir y purificar el flujo de alimentación para producir un flujo de alimentación comprimido y purificado. Un compresor impulsor está en comunicación de flujo con la unidad de purificación para comprimir aún más un primer flujo comprimido desde otra parte del flujo de alimentación comprimido y purificado. El intercambiador de calor principal está en comunicación de flujo con el compresor impulsor y está configurado también para formar un flujo líquido. Un dispositivo de expansión se conecta al intercambiador de calor principal para expandir el flujo líquido. Al menos una columna de alta presión y una columna de baja presión está en comunicación de flujo con el dispositivo de expansión para recibir el flujo líquido. Otra unidad de turbina de carga impulsora se conecta al intercambiador de calor principal, en comunicación de flujo con la unidad de purificación, de modo que un segundo flujo comprimido formado desde otra parte adicional del flujo

de alimentación comprimido y purificado se comprime aún más, se enfría parcialmente dentro del intercambiador de calor principal y se expande en un turboexpansor para formar un flujo de escape. El turboexpansor está en comunicación de flujo con la columna de alta presión, de modo que el flujo de escape se introduce en la columna de alta presión. El intercambiador de calor principal también está en comunicación de flujo con la columna de baja presión y está configurado de modo que un flujo de cabeza de columna de baja presión y un flujo residual de nitrógeno impuro pasan desde la columna de alta presión al intercambiador de calor principal y fluyen entre el extremo frío y el extremo caliente del mismo para ayudar a enfriar el flujo de alimentación después de la compresión a la temperatura adecuada para su rectificación. Al menos una salida se proporciona para descargar al menos un producto líquido desde al menos una de las otras partes del flujo de oxígeno líquido bombeado y una porción de un flujo líquido rico en nitrógeno producido en el sistema de columna de destilación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Aunque la presente invención concluye con reivindicaciones que señalan claramente el objeto que los solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se entenderá mejor si se considera en relación con los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 es un diagrama de flujo de proceso esquemático de una planta de rectificación criogénica para la realización de un procedimiento de la presente invención en el que se emplea un ciclo de refrigeración de circuito cerrado para aumentar la producción de líquido;

La Fig. 2 es una vista lateral en alzado de un intercambiador de calor utilizado en una planta de rectificación criogénica ilustrada en la Fig. 1;

La Fig. 3 es una vista en sección de la Fig. 2 que ilustra un tipo de capa incorporada en el intercambiador de calor que se muestra en la Fig. 2;

La Fig. 4 es una vista en sección de la Fig. 2 que ilustra otro tipo de capa incorporada en el intercambiador de calor que se muestra en la Fig. 2 y está operativamente asociada a la capa que se muestra en la Fig. 3;

La Fig. 5 es una vista en sección ampliada de una aleta de redistribución empleada en la capa que se muestra en la Fig. 4;

La Fig. 6 es una vista en sección ampliada de una aleta de redistribución empleada en la capa que se muestra en la Fig. 3;

La Fig. 7 es una forma de realización alternativa de una capa de un intercambiador de calor principal utilizado en la planta de rectificación criogénica que se muestra en la Fig. 1 que sirve para calentar el oxígeno líquido bombeado y para calentar o enfriar también otro flujo como un flujo de refrigerante; y

La Fig. 8 es una forma de realización alternativa de la planta de rectificación criogénica que se muestra en la Fig. 1, en la que otro flujo asociado a la planta se enfría dentro de la capa del intercambiador de calor principal que también se utiliza en el calentamiento del flujo de oxígeno líquido bombeado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Con referencia a la Fig. 1, se ilustra una planta de separación de aire criogénica (1) que se integra con un sistema de refrigeración de circuito cerrado (2), descrito en lo sucesivo, para aumentar la producción de productos líquidos. Esta integración se logra mediante el uso de un intercambiador de calor (3) provisto de capas que permiten flujos secundarios de oxígeno líquido bombeado para alcanzar una temperatura que supera ya sea el punto de rocío o la temperatura crítica del oxígeno líquido bombeado y luego combinan dichos flujos secundarios para liberar regiones de capas para calentar un flujo de refrigerante producido en el ciclo de refrigeración de circuito cerrado. Se entiende, sin embargo, que la integración de la planta de separación de aire (1) y el sistema de refrigeración de circuito cerrado (2) es solo una aplicación de la presente invención.

Al igual que la planta de separación de aire (1), un flujo de aire (10) es introducido en una planta de separación de aire criogénica (1) para separar el oxígeno del nitrógeno. El flujo de aire (10) es comprimido dentro de un primer compresor (12) a una presión que puede estar entre aproximadamente 5 bar(es) y aproximadamente 15 bar(es). El compresor (12) puede ser un compresor de engranaje integral refrigerado con remoción de condensado que no se muestra. Debe tenerse en cuenta que, en ciertas integraciones, el flujo de aire (10) podría obtenerse a presión o podría purgarse aire desde un compresor u otra fuente de flujo que contenga oxígeno y nitrógeno.

Después de la compresión, el flujo de alimentación comprimido resultante (14) se introduce en una unidad de purificación (16). La unidad de purificación (16), como bien se conoce en la técnica, típicamente contiene lechos de alúmina y / o tamiz molecular que funcionan de acuerdo con un ciclo de adsorción por cambio de temperatura y / o presión en el que la humedad y otras impurezas de mayor ebullición son adsorbidas. Además, como se conoce en la

técnica, dichas impurezas de mayor ebullición son típicamente, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos. Mientras un lecho funciona otro lecho se regenera. Podrían utilizarse otros procesos, tales como enfriamiento por agua de contacto directo, enfriamiento basado en la refrigeración, contacto directo con agua fría y separación de fases.

5

El flujo de alimentación comprimido y purificado resultante (18) se divide seguidamente en un flujo (20) y en un flujo (22). Típicamente, el flujo (20) está entre aproximadamente el 25 por ciento y aproximadamente el 35 por ciento en volumen del flujo de alimentación comprimido y purificado (18) y tal como se ilustra, el remanente es el flujo (22).

10 El flujo (20) se comprime posteriormente aún más dentro de un compresor (23) que puede comprender nuevamente un compresor de engranaje integral refrigerado. El segundo compresor (23) comprime el flujo (20) a una presión entre aproximadamente 25 bar(es) y aproximadamente 70 bar(es) para producir un primer flujo comprimido (24). El primer flujo comprimido (24) se introduce posteriormente en el intercambiador de calor principal (3) donde se enfría y se licua en el extremo frío del intercambiador de calor principal (3) para producir un flujo líquido (25).

15

El flujo (22) se comprime aún más mediante un compresor de turbina de carga impulsora (26) y se comprime todavía más mediante un segundo compresor impulsor (28) a una presión que puede estar en el rango de entre aproximadamente 20 bar(es) a aproximadamente 60 bar(es) para producir un segundo flujo comprimido (30). El segundo flujo comprimido (30) se introduce luego en el intercambiador de calor principal (3) en el que se enfría

20 parcialmente a una temperatura en un rango de entre aproximadamente 160 y aproximadamente 220 Kelvin para formar un flujo parcialmente enfriado (31) que se introduce seguidamente en un turboexpansor (32) para producir un flujo de escape (34) que se introduce en la unidad de separación de aire (50). Como se puede apreciar, la compresión del flujo (22) podría tener lugar en una sola máquina de compresión. Como se ilustra, el turboexpansor (32) está vinculado al primer compresor impulsor (26), directamente o mediante engranajes adecuados. Sin embargo, también es posible que el turboexpansor se conecte a un generador para generar electricidad que podría utilizarse en el terreno o enviarse a la red.

30 El flujo líquido (25), resultante del enfriamiento del primer flujo comprimido (24) dentro del intercambiador de calor principal (3) se expande parcialmente en una válvula de expansión (45) y posteriormente se divide en flujos líquidos (46 y 48) para su eventual introducción en la unidad de separación de aire (50). La válvula de expansión (45) podría ser reemplazada por un expansor de líquido para generar parte de la refrigeración.

35 Los componentes del flujo de alimentación (10) mencionados anteriormente, oxígeno y nitrógeno, se separan dentro de una unidad de separación de aire (50) que consiste en una columna de mayor presión (52) y una columna de menor presión (54). Se entiende que, si el argón fuera un producto necesario, podría incorporarse una columna de argón en la unidad de columna de destilación (50). La columna de menor presión (54) funciona típicamente a entre aproximadamente 1,1 y 1,5 bar(es).

40 La columna de mayor presión (52) y la columna de menor presión (54) están vinculadas en una relación de transferencia de calor, de modo que una cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno, extraído de la parte superior de la columna de mayor presión (52) como un flujo (56), se condensa dentro de un condensador-recalentador (57) ubicado en la base de la columna de menor presión (54) contra la ebullición de un fondo de columna líquida rico en oxígeno (58). La ebullición del fondo de columna del líquido rico en oxígeno (58) inicia la formación de una fase de vapor ascendente dentro de la columna de menor presión (54). La condensación produce un flujo que contiene nitrógeno líquido (60) que se divide en flujos (62, 64) que someten a reflujo la columna de mayor presión (52) y la columna de menor presión (54), respectivamente, para iniciar la formación de fases líquidas descendentes en dichas columnas.

45 El flujo de escape (34) se introduce en la columna de mayor presión (52) junto con el flujo líquido (46) para la rectificación por contacto con una fase de vapor ascendente de dicha mezcla dentro de los elementos de contacto de transferencia de masa (66, 68) con una fase líquida descendente que se inicia por flujo de reflujo (62). Esto produce un fondo de columna de oxígeno líquido crudo (70), también conocido como líquido de caldera y la cabeza de columna rica en nitrógeno mencionada anteriormente. Un flujo (72) del fondo de columna de oxígeno líquido crudo (70) se expande en una válvula de expansión (74) a la presión de la columna de menor presión (54) y se introduce en dicha columna para mayor refinamiento. El segundo flujo líquido (48) pasa a través de una válvula de expansión (76), se expande a la presión de la columna de menor presión (54) y se introduce posteriormente en la columna de menor presión (54).

50 La columna de menor presión (54) está provista de elementos de contacto de transferencia de masa (78, 80, 82, 84) que pueden ser bandejas o embalaje estructurado o embalaje aleatorio u otros elementos conocidos en la técnica. Como se ha mencionado anteriormente, la separación produce un fondo de columna líquida rico en oxígeno (58) y una cabeza de columna de vapor rica en nitrógeno que se extrae como un flujo de producto de nitrógeno (86). Además, un flujo residual (88) se extrae también para controlar la pureza del flujo de producto de nitrógeno (86). Tanto el flujo de producto de nitrógeno (86) como el flujo residual (88) pasan a través de una unidad de subenfriamiento (90). La unidad de subenfriamiento (90) subenfriaría el flujo de reflujo (64). Parte del flujo de reflujo (64) como un flujo (92) puede tomarse opcionalmente como un producto líquido y una parte remanente (93) puede

introducirse en la columna de menor presión (54) después de haber sido reducida en presión a través de una válvula de expansión (94).

Después del paso a través de la unidad de subenfriamiento (90), el flujo de producto de nitrógeno (86) y el flujo residual (88) se calientan completamente dentro del intercambiador de calor principal (3) para producir un flujo de producto de nitrógeno calentado (95) y un flujo residual calentado (96). El flujo residual calentado (96) se puede utilizar para regenerar los adsorbentes dentro de la unidad de prepurificación (16). Además, un flujo líquido rico en oxígeno (98) es extraído del fondo de la columna de menor presión (54) que consiste en el fondo de columna líquida rico en oxígeno (58). El flujo líquido rico en oxígeno (98) puede ser bombeado por una bomba (99) para formar un flujo de producto bombeado, como se ilustra mediante el flujo de oxígeno líquido bombeado (100). Parte del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) puede tomarse opcionalmente como un flujo de producto de oxígeno líquido (102). El remanente (104) puede calentarse completamente en el intercambiador de calor principal (3) y vaporizarse para producir un flujo de producto presurizado en forma de flujo de producto de oxígeno (106) a presión y de la manera que se describirá más adelante.

Se debe tener en cuenta que, aunque la primera planta de separación de aire (1) se ilustra con una columna de mayor presión y de menor presión conectadas en una relación de transferencia de calor mediante la disposición del condensador-recalentador (57), otros tipos de plantas son posibles. Por ejemplo, las plantas de oxígeno de baja pureza pueden utilizarse en relación con la presente invención. En dichas plantas, las columnas de mayor y menor presión no están conectadas en una relación de transferencia de calor latente como se muestra en la Fig. 1. Más bien, el recalentamiento inferior de la columna de menor presión es típicamente proporcionado por la condensación o la condensación parcial de un flujo de aire comprimido que posteriormente es suministrado en la columna de mayor presión.

Tal como se ha indicado en la descripción anterior, la planta de separación de aire (1) es capaz de producir productos líquidos, a saber, líquido rico en nitrógeno a través del flujo (92) y el flujo de producto de oxígeno líquido (102). Para aumentar la producción de dichos productos, se suministra refrigeración adicional mediante un sistema de refrigeración que se ilustra como un sistema de refrigeración de circuito cerrado (2) que utiliza el aire como refrigerante. En este sentido, parte del flujo de alimentación comprimido y purificado (18) como un flujo (110) se utiliza para cargar el sistema de refrigeración de circuito cerrado (2) mediante la válvula de apertura (112). Después de cargado, la válvula (112) regresa a una posición cerrada. Un flujo de reciclaje (114a), a una presión de entre aproximadamente 4 bares y aproximadamente 11 bares y después de calentarse en el intercambiador de calor principal (3), se comprime en un compresor de reciclaje (116) y luego se suministra en un compresor impulsor (118) y en un turboexpansor (112) que es preferentemente como se ilustra acoplado al compresor impulsor (118). Después de la eliminación del calor de compresión dentro de un refrigerador posterior (120), el flujo de refrigerante comprimido resultante (122) es suministrado al turboexpansor (112) a una presión de entre aproximadamente 35 y 75 bares para producir un flujo de escape compuesto de un flujo de refrigerante frío (114b) que se suministra en el intercambiador de calor principal (3) a una presión ligeramente superior al flujo de reciclaje (114a).

Como puede apreciarse, el grado en que se suministra la refrigeración al intercambiador de calor principal (3) puede controlarse generalmente mediante el control de la entrada de potencia al compresor (116). Más específicamente, pueden utilizarse álabes de guía de entrada con compresor (116, 118) para mantener la eficiencia de compresión en un amplio rango de funcionamiento. Alternativamente, el sistema de refrigeración de circuito cerrado (2) puede encenderse cuando se desea más producto líquido y puede apagarse cuando no se requiere dicho aumento de producción. Aunque no se muestra en la Fig. 1, en casos en los que se requieren mayores fracciones de oxígeno gaseoso (producto de oxígeno líquido reducido), pueden proporcionarse válvulas y conductos adicionales para permitir que las regiones de capas utilizadas dentro del intercambiador de calor principal (3) que se utilizan en el calentamiento del flujo de refrigerante frío (114b) puedan ser utilizadas alternativamente para el calentamiento del oxígeno gaseoso o mediante el enfriamiento del segundo flujo comprimido (22) después de haber sido comprimidas en el compresor (28).

Se debe tener en cuenta que en lugar del ciclo de refrigerante de circuito cerrado (3), podrían introducirse otros flujos de refrigerante en el intercambiador de calor principal (3), tales como flujos criogénicos líquidos, por ejemplo, nitrógeno líquido, obtenido de las instalaciones de almacenamiento en un enclave. Otra posibilidad es utilizar todo o parte del flujo de producto de nitrógeno (95) como refrigerante. Si se deseara el producto de nitrógeno a presión, podría utilizarse un compresor de nitrógeno en lugar del compresor de reciclaje (116) y el ciclo de refrigeración no sería un ciclo cerrado. Otra posibilidad más es integrar el compresor de reciclaje (116) y el compresor impulsor (118) con el compresor impulsor (28) y el compresor impulsor (23). Además, los ciclos de refrigeración capaces de producir un refrigerante a baja temperatura, como los conocidos ciclos de refrigeración de gases mixtos, podrían utilizar refrigerantes compatibles con el oxígeno. Si se utiliza el nitrógeno como fluido de trabajo, podría utilizarse un refrigerante comercial de temperatura inferior, como el amoníaco o el R134a, en lugar del refrigerador posterior (120) que en caso de aire utilizaría agua. Además, el flujo de refrigerante comprimido (112) puede enfriarse aún más dentro del intercambiador de calor principal (3) antes de la expansión en el turboexpansor (112). Este preenfriamiento adicional podría ser un complemento o un reemplazo del refrigerador posterior (120). Alternativamente, el refrigerador posterior (120) podría incorporarse en el intercambiador de calor principal (3).

Como resulta evidente a partir de la Figura, el remanente (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) se divide en el primer y segundo flujo secundario (104a, 104b). Aunque solo se muestran dos de dichos primeros y segundos flujos secundarios (104a, 104b), habría una serie de dichos flujos que se suministran en las capas del intercambiador de calor principal (3). El flujo de oxígeno líquido bombeado (100) puede ser presurizado por encima o por debajo de la presión crítica, de modo que el flujo de producto de oxígeno (106) cuando se descarga del intercambiador de calor (3) será un fluido supercrítico. Alternativamente, la presurización del flujo de oxígeno líquido bombeado podría ser menor para producir el flujo de producto de oxígeno (106) en forma de vapor. En el caso de un fluido supercrítico, podría llegarse a un punto en el que el remanente (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) alcanzara una temperatura crítica. En el caso de un vapor, podría llegarse a un punto dentro del intercambiador de calor (3) en el que el remanente (104) alcanzaría su punto de rocío. Como pueden apreciar los expertos en la técnica, el calor que hay que añadir al elevar la temperatura del remanente (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) a una temperatura crítica o a una temperatura de punto de rocío es mayor que el que se requiere para el calentamiento adicional de dicho flujo a una temperatura en o alrededor de la temperatura ambiente en el extremo caliente del intercambiador de calor principal (3). En consecuencia, cuando los primeros y segundos flujos secundarios (104a, 104b) son superiores a la temperatura crítica en el caso de la presurización supercrítica o de la temperatura de punto de rocío, en el caso de una presurización que no equivale a una presión crítica, dichos flujos pueden calentarse a partir de dichas temperaturas a la temperatura del extremo caliente del intercambiador de calor principal (3) en un área de transferencia de calor que es menor que la requerida para obtener dichas temperaturas en el primer caso. Dado que el área de transferencia de calor total que proporcionan las capas que están destinadas al calentamiento del oxígeno líquido bombeado puede reducirse, las regiones de las capas pueden ser liberadas para otros fines, a saber, para calentar el flujo de refrigerante frío (114b) dentro de las regiones remanentes de dichas capas. Como resultado, desde el flujo de refrigerante frío (114b) que se calienta dentro de las capas, se transmite refrigeración adicional a la planta de separación de aire (1) para aumentar la producción de los productos líquidos. Al mismo tiempo, sin embargo, el intercambiador de calor principal no se agranda con más capas para acomodar el flujo de refrigerante frío (114b), y se reducen los costes en los que, de no ser así, se incurrirían al fabricar el intercambiador de calor principal agrandado con las placas adicionales.

Con referencia a la Fig. 2, el intercambiador de calor (3) es de estructura de aluminio de soldadura fuerte de tipo aleta de placa. Dichos intercambiadores de calor son ventajosos gracias a su diseño compacto, a sus altas tasas de transferencia de calor y a su capacidad de procesar múltiples flujos. Son fabricados como receptáculos de presión completamente soldados por fusión o mediante soldadura fuerte. La operación de soldadura fuerte implica el apilamiento de aletas corrugadas, láminas de separación y barras finales para formar una matriz nuclear. La matriz se coloca en un horno de soldadura fuerte al vacío donde se calienta y se mantiene a temperatura de soldadura fuerte en un ambiente al vacío limpio. Para plantas pequeñas, un intercambiador de calor que comprende un solo núcleo puede ser suficiente. Para flujos más altos, puede construirse un intercambiador de calor a partir de varios núcleos que deben estar conectados en paralelo o en serie.

El intercambiador de calor principal (3) se divide en capas de una manera conocida en la técnica para realizar el intercambio de calor indirecto entre flujos que fluyen en capas adyacentes. Los flujos que se calentarán o enfriarán se introducen en y se extraen de las capas del intercambiador de calor principal (3) por medio de una serie de tanques colectores (120, 122, 124, 126, 128, 130, 132, 134, 136, 140, 142, 144). Todos los tanques colectores mencionados anteriormente son de configuración semicilíndrica. Aunque dichos tanques colectores (120-144) se extienden en la profundidad total del intercambiador de calor principal (3), solo las capas destinadas a recibir y descargar un flujo particular están en comunicación de flujo con los tanques colectores asociados con dicho flujo a través de puertos de entrada y salida. El resto de las capas se sellan desde el flujo mediante barras laterales. Las capas se apilan en una proporción y en un orden o patrón de modo que proporcionan una transferencia de calor segura y eficiente entre flujos calientes y flujos fríos.

Como se ilustra, el primer flujo comprimido (24) entra en el tanque colector (120) desde donde dicho flujo sigue siendo distribuido a un conjunto de capas ubicadas dentro del intercambiador de calor principal (3), donde el flujo se licua para producir flujos líquidos que se recogen dentro del tanque colector (122) de modo que el flujo líquido (25) puede ser descargado desde el mismo. Del mismo modo, el segundo flujo comprimido (30) se introduce en el tanque colector (124) y después de su paso a través de las capas que se extienden solo en parte de la altura del intercambiador de calor principal (3), los flujos se recogen y se descargan desde el tanque colector (126) como flujo parcialmente enfriado (31) que se introduce en el turboexpansor (32). El flujo de producto de nitrógeno (86) y el flujo residual (88) se introducen en colectores (132, 128), se distribuyen en capas ubicadas dentro del intercambiador de calor principal (3) y se asocian a dichos flujos y se descargan como flujo de nitrógeno de producto (95) y como flujo residual caliente (96) desde tanques colectores (134, 130), respectivamente, ubicados en la parte superior del intercambiador de calor principal (3).

Con referencia adicional a las Figs. 3 y 4, se ilustran respectivamente las capas (150, 152). Estas capas forman capas dentro del intercambiador de calor principal (3) que se asocian con el calentamiento de la porción remanente (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) y el calentamiento del flujo de refrigerante frío (114b) para producir el flujo de reciclaje (114a). Ambas capas, en sus porciones inferiores, están en comunicación de flujo con el tanque colector (128) que recibe la porción remanente (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100). El tanque colector (128) distribuye dicho flujo a las capas (150, 152) como flujos secundarios (104a, 104b). Como se ha podido

apreciar, habría múltiples capas (150, 152) en el intercambiador de calor principal (3) y, como tal, los flujos secundarios (104a, 104b) representan los flujos secundarios que serían introducidos en dichas capas.

Haciendo referencia primero a la capa (150), se define entre barras laterales (154, 156) y barras finales (158, 160) y lámina de separación (162). El recinto de la capa (150) sería completado por la lámina de separación de la siguiente capa dentro del intercambiador de calor principal (3). Las aletas (164) se ubican dentro de la capa (150) para aumentar la transferencia de calor del flujo secundario (104a) y aumentar también la integridad estructural de la capa (150). El flujo secundario (104a) entra en la capa (150) y se redirige a la primera sección de la capa (150) mediante una red conocida de aletas de distribución (168). El flujo continúa en una dirección ascendente hacia las aletas de redistribución (170). Debe tenerse en cuenta que el diseño de las aletas (164) en los lados opuestos de las aletas de redistribución (170) podría ser de diferente configuración para obtener una transferencia de calor más eficiente.

El flujo secundario (104b) entra en la capa (152) que se define entre las barras laterales (172, 174) y las barras finales (176, 178) y la lámina de separación (180). El recinto de la capa (152) se completaría mediante la lámina de separación de la siguiente capa dentro del intercambiador de calor principal (3). Las aletas (182) se ubican dentro de la capa (152) para aumentar la transferencia de calor del flujo secundario (104b) y para fines estructurales. El flujo secundario (104b) entra en la capa (152) y se redirige a una primera sección de la capa (152) mediante una red conocida de aletas de distribución (186). El flujo continúa en dirección ascendente hacia las aletas de redistribución (188). Nuevamente, debe tenerse en cuenta que el diseño de las aletas (182) en los lados opuestos de las aletas de redistribución (188) podría ser de diferente configuración para obtener una transferencia de calor más eficiente. Con referencia a la Fig. 5, las aletas de redistribución (188) consisten en aletas de redistribución (190, 192) separadas por una placa (194) para fines que se describirán con más detalle a continuación. El flujo del flujo secundario (104b) se desvía mediante aletas de redistribución (190) hacia el tanque colector de redistribución (196), también mostrado en la Fig. 2, que también se encuentra en comunicación de flujo con la primera sección de la(s) capa(s) (150) y las aletas de redistribución (170). Como se muestra en la Fig. 6, el flujo secundario (104b) fluye hacia el tanque colector de redistribución (196) y luego hacia las aletas de redistribución (170) de la(s) capa(s) (150) donde se combina con el flujo secundario (104a) para formar flujos secundarios combinados (104c) que se dirigen a una segunda sección de la(s) capa(s) (150) y luego a las aletas de redistribución (198) de la capa (150). Las aletas de redistribución (198) dirigen los flujos secundarios combinados (104c) al tanque colector (140), también mostrado en la Fig. 2, donde los flujos secundarios combinados (104c) se recombinan en el flujo de producto de oxígeno (106) que se descarga desde el intercambiador de calor (3).

Por lo tanto, los flujos secundarios (104a, 104b) se calientan respectivamente dentro de las primeras secciones de la(s) capa(s) (150) definidas entre las aletas de redistribución (168, 170) y dentro de las primeras secciones de las capas (152) definidas entre las aletas de redistribución (186, 188) y luego se calientan completamente dentro de las segundas secciones de la(s) capa(s) (150) que se definen entre las aletas de redistribución (170, 198) o, en otras palabras, el flujo de oxígeno se sobrecalienta en dichas secciones de capa(s) (150). Como una segunda sección de capa(s) (152) definida entre las aletas de redistribución (188, 202) no se utiliza para el intercambio de calor que implica el flujo secundario (104b), existe una región de dicha(s) capa(s) para el intercambio de calor del flujo de refrigerante (114b) que se introduce en el tubo colector (142) y posteriormente las aletas de redistribución (192), en el otro lado de la placa (194) para dirigir el flujo dentro de la capa (152) y las aletas (182) a las aletas de redistribución (202), donde el o los flujos de refrigerante secundarios calentados ahora (114c) se descargan en el tubo colector (144) para formar el flujo de reciclaje (114a). Se debe tener en cuenta que es posible que el flujo de refrigerante (114b) esté a una temperatura de entrada por encima del punto en el que el oxígeno se redistribuye mediante las aletas de redistribución (188). En dicho caso, se emplearían las aletas de redistribución separadas para descargar flujos secundarios (104b) al colector de redistribución (196) y para la entrada del flujo de refrigerante (114b). Esto, de hecho, podría ser necesario si se utilizara un enfriador mecánico para suministrar el refrigerante al intercambiador de calor principal (3). En cualquier caso, el área de sección transversal del intercambiador de calor principal (3) proporcionada para el flujo de refrigeración frío (114b) se encuentra preferentemente entre aproximadamente el 5 por ciento y aproximadamente el 10 por ciento del área total disponible.

Las aletas de redistribución (188) de la(s) capa(s) (152), las aletas de redistribución (170) de la(s) capa(s) (150) y el colector de redistribución (196) están situados en una ubicación del intercambiador de calor principal (3) en la que la temperatura de los flujos secundarios (104a, 104b) supera la temperatura crítica, en el caso de una presión crítica, en aproximadamente 3 Kelvin o la temperatura de punto de rocío, en el caso de una presión por debajo de la presión crítica, en aproximadamente 5 Kelvin. Dichas ubicaciones pueden encontrarse mediante simulaciones conocidas por los expertos en la técnica. Se debe tener en cuenta que como los flujos secundarios combinados (104c) se calientan más dentro de las segundas secciones de la capa (150), dicha temperatura está por debajo de la temperatura final caliente del intercambiador de calor principal (3) o, en otras palabras, la temperatura en las aletas de redistribución (198). Se debe tener en cuenta que la razón para el diseño de las capas de modo que la temperatura crítica o de punto de rocío sea superada antes de la combinación de los flujos secundarios (104a, 104b) es asegurar que haya suficiente área de intercambio de calor para crear un fluido supercrítico o vaporizar completamente el oxígeno antes del calentamiento adicional de los flujos secundarios combinados (104c). El grado en el que se supera dicha temperatura disminuirá por supuesto las regiones remanentes de las capas que pueden utilizarse para el calentamiento o enfriamiento de otro flujo, por ejemplo, el calentamiento del flujo de refrigerante frío (114b). La temperatura preferida, dada arriba, para superar la temperatura crítica o de punto de rocío representa, por tanto, un

factor de seguridad en el diseño del intercambiador de calor principal (3), dado el hecho de que, debido a las variaciones en el suministro de aire debido a la temperatura y a la presión, la temperatura del intercambiador de calor principal (3) en las aletas de redistribución (198) también variará. Como también sabrán los expertos en la técnica, ya que los flujos se calientan en ambas capas (150, 152), dichas capas estarían ubicadas adyacentes a las 5 capas empleadas en flujos de enfriamiento, que en la planta de rectificación criogénica (1) serían las capas que se utilizan para enfriar el primer flujo comprimido (24).

En el intercambiador de calor principal (1) se contempla que las capas involucradas en el enfriamiento del primer flujo comprimido (24) se extienden por la altura completa del mismo. Sin embargo, tal como sería comprendido por 10 los expertos en la técnica, es posible utilizar las regiones no usadas de las capas que se emplean en el enfriamiento parcial del segundo flujo comprimido (30) en el enfriamiento del primer flujo comprimido (24).

Las capas (150, 152) están diseñadas para reducir el área de transferencia de calor provista para un mayor calentamiento de la porción (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) después de alcanzada una 15 temperatura crítica o una temperatura de punto de rocío para dejar disponibles las regiones de dichas capas para calentar el flujo de refrigerante enfriado (114b). Como se ha descrito anteriormente, esto se realiza mediante la combinación de flujos secundarios (104a, 104b) y luego solo mediante las segundas secciones de las capas (150) para calentar los flujos secundarios combinados (104c). En la Fig. 7, se muestra otra posibilidad en la que no hay división de la porción (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) y, por lo tanto, no existe ninguna 20 combinación de flujos secundarios en flujos secundarios combinados. En dicha realización, se muestra una capa (153) que se define entre barras laterales (204, 206) y barras finales (208, 210) y una lámina de separación (212). La parte (104) del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) se introduce en el tanque colector (136') para producir flujos secundarios que son dirigidos por aletas de redistribución (214) en una primera sección de la capa (153) que contiene aletas (216). Los flujos secundarios fluyen posteriormente a una segunda sección que contiene aletas (217) 25 por medio de aletas de redistribución (218). Dicha segunda sección se define entre las aletas de redistribución (218), una barra divisoria (220) y otro conjunto de aletas de redistribución (222). Los flujos secundarios fluyen posteriormente desde dicha segunda sección mediante la provisión de aletas de redistribución (222) y se acumulan dentro del tanque colector (140') para permitir la descarga del flujo de producto de oxígeno (106) del mismo. Las aletas de redistribución (218) se posicionarían en una ubicación en la que la temperatura de los flujos secundarios 30 superase la temperatura crítica o la temperatura de punto de rocío como se ha descrito anteriormente. La barra divisoria reduce así el área de transferencia de calor proporcionada por la capa (153) que no es necesaria para el posterior calentamiento del flujo (104) por encima de la temperatura crítica o por debajo de la temperatura de punto de rocío. Además, define otra región o tercera sección de la capa (153) para el calentamiento del flujo de refrigerante (114b). El flujo de refrigerante (114b) entra en el tanque colector (142') y los flujos de refrigerante secundarios del 35 mismo son dirigidos a aletas (224) por medio de aletas de redistribución (226). Dichos flujos secundarios se dirigen seguidamente en dichas capas por medio de aletas de redistribución (228) al tanque colector (144') para recolectar y descargar el flujo de reciclaje (114b).

Como alternativa a la capa (153), podría construirse una capa en la que, en lugar de utilizar una barra divisoria, 40 como la barra divisoria (220), para dividir la capa en una dirección longitudinal, la profundidad de la capa podría dividirse, en cambio, en subcapas por una placa. Una subcapa formaría una región utilizada para calentar el flujo de refrigerante (114b) o para enfriar o calentar algún otro flujo y otra subcapa se utilizaría para sobrecalentar el oxígeno en la formación del flujo de producto de oxígeno (106). La primera subcapa se aislaría de la segunda subcapa por medio de una barra divisoria de altura media. Las subcapas se suministrarían individualmente con flujos secundarios 45 de la porción (104) del oxígeno líquido bombeado por una aleta de redistribución de altura media y con una aleta distribuidora de altura media apilada en la aleta de redistribución de oxígeno para distribuir los flujos de refrigerante secundarios en una subcapa. Dado que la capa dividida constituiría dos capas de calentamiento adyacentes entre sí, es importante asegurarse de que haya un flujo de enfriamiento en ambos lados de la capa de división para evitar una situación en la que tres capas frías están una al lado de la otra en el patrón de apilamiento. Obviamente, si esto 50 sucede, la capa de calentamiento medio solo podrá transferir calor a una capa de enfriamiento a través de otra capa de calentamiento y esto es ineficiente, e introduce gradientes de temperatura que pueden causar un estrés térmico excesivo. Se proporcionarían aletas de redistribución, apiladas una sobre otra, para descargar dichos flujos secundarios desde la capa a sus respectivos tanques colectores.

Aunque la presente invención ha sido descrita hasta ahora como una aplicación para el calentamiento del flujo de refrigerante (114b), existen otras posibles aplicaciones de la presente invención. Por ejemplo, con referencia a la Fig. 7, se ilustra una forma de realización alternativa de la planta de separación de aire (1) que no tiene el ciclo de refrigeración auxiliar. En dicha realización, el segundo flujo comprimido (30) puede dividirse en flujos comprimidos (30a, 30b). El flujo comprimido (30b) puede introducirse en las mismas capas que de otra manera se utilizarían en 60 relación con el flujo de refrigerante de calentamiento (114b) y se enfriaría en dichas capas introduciéndolo en el tubo colector (144) y extrayéndolo del tubo colector (142) después de haberse enfriado parcialmente. El flujo comprimido resultante parcialmente enfriado (30c) se combinaría con el flujo comprimido (30a) después de haber sido parcialmente calentado y los flujos, como un flujo combinado (30d) se introducirían en el turboexpansor (32). Como resultaría evidente para los expertos en la técnica, el diseño del intercambiador de calor principal (3) tendría que ser 65 ligeramente modificado en la disposición de las capas. Más precisamente, la capa (152) tendría que situarse adyacente a al menos un flujo de calentamiento.

Como resultaría evidente para los expertos en la técnica, las capas utilizadas en la presente invención también podrían utilizarse en el calentamiento de productos de nitrógeno que se deseen a alta presión. En plantas de rectificación criogénica que se diseñan para dichos fines, los flujos líquidos ricos en nitrógeno pueden ser
5 bombeados a la presión deseada, por ejemplo, el flujo (92) ya sea solo o con el flujo líquido rico en oxígeno (98) que, tal como se ha descrito anteriormente, es bombeado y luego, vaporizado en el intercambiador de calor principal (3). Si ambos de dichos flujos se desearan a presión, el intercambiador de calor principal (3) podría modificarse para incluir capas, tal como se describe arriba, para ambos flujos.

Aunque la presente invención se ha descrito con referencia a realizaciones preferidas, como sería evidente para los
10 expertos en la técnica, pueden realizarse numerosos cambios y omisiones sin apartarse del alcance de la presente invención como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir un flujo de producto presurizado que comprende:

- 5 rectificar un flujo de alimentación que contiene oxígeno y nitrógeno mediante un proceso de rectificación criogénica que utiliza un intercambiador de calor principal (3) de estructura de aleta de placa y un sistema de columna de destilación (50) asociado operativamente al intercambiador de calor principal;
- bombear un flujo de producto (98) extraído del sistema de columna de destilación (50) y compuesto de líquido rico en oxígeno o líquido rico en nitrógeno para producir un flujo de producto bombeado (100);
- 10 caracterizado porque el procedimiento comprende, además:

el intercambiador de calor principal que incluye un primer conjunto de capas y un segundo conjunto de capas, teniendo cada primer conjunto de capas y cada segundo conjunto de capas primeras secciones y segundas secciones;

- 15 calentar flujos secundarios (104a, 104b) de al menos parte del flujo de producto bombeado (100) dentro de las primeras secciones del primer conjunto de capas y el segundo conjunto de capas del intercambiador de calor principal (3) hasta que la temperatura de los flujos secundarios supere la temperatura crítica o la temperatura de punto de rocío del flujo de producto bombeado (100), mientras se enfría indirectamente uno o más flujos (24, 104a, 104b) asociados al proceso de destilación criogénica;
- 20 combinar los flujos secundarios calentados (104a, 104b) en el intercambiador de calor principal (3) para formar un flujo combinado (104c); y
- continuar calentando el flujo combinado (104c) dentro de la segunda sección del primer conjunto de capas del intercambiador de calor principal (3) para producir flujo de producto presurizado (106), mientras se calienta o se enfría indirectamente otro flujo (30b, 114b) asociado al proceso de destilación criogénica dentro de las segundas
- 25 secciones del segundo conjunto de capas.

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, donde:

- al menos un producto líquido (98) se produce mediante el sistema de columna de destilación (50); y
- 30 al menos otro flujo (114b) es un flujo de refrigerante que se calienta dentro del intercambiador de calor principal (3) para aumentar la producción de al menos un producto líquido.

3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, donde:

- 35 las capas del intercambiador de calor principal (3) incluyen un primer conjunto de capas (150) y un segundo conjunto de capas (152), cada primer conjunto de capas y cada segundo conjunto de capas tiene primeras secciones y segundas secciones; y
- el flujo de refrigerante (114b) se introduce en y se calienta dentro de las segundas secciones del segundo conjunto de capas.

40

4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, donde el flujo de refrigeración (114b) se produce en un ciclo de refrigeración de circuito cerrado (2).

- 5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, donde el ciclo de refrigeración (2) incluye la
- 45 compresión del flujo de refrigerante (114c) después de haber sido calentado en el intercambiador de calor principal (3), comprimiendo aún más el flujo de refrigerante y expandiendo posteriormente el flujo de refrigerante en una turbina (112) para formar un flujo de escape que se introduce en la segunda sección del segundo conjunto de capas.

6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, donde:

50

el flujo de producto (98) extraído del sistema de columna de destilación (50) está compuesto por el líquido rico en oxígeno; y el proceso de rectificación criogénica incluye:

- 55 comprimir y purificar el flujo de alimentación (10) para producir un flujo de alimentación comprimido y purificado (18); dividir el flujo de alimentación comprimido y purificado (18) en un primer flujo comprimido (20) y en un segundo flujo comprimido (22);
- continuar comprimiendo el primer flujo comprimido (20), enfriar completamente el primer flujo comprimido (24) en el intercambiador de calor principal (3) para formar un flujo líquido (25), expandir el flujo líquido e introducir el flujo
- 60 líquido (46, 48) en al menos una columna de alta presión (52) y en una columna de baja presión (54);
- estando operativamente asociada la columna de baja presión (54) a la columna de alta presión (52), de modo que el vapor rico en nitrógeno (56) producido como cabeza de columna de alta presión (56) en la columna de alta presión se condensa para formar el reflujo (60) para la columna de alta presión y la columna de baja presión contra la vaporización de un fondo de columna de líquido rico en oxígeno (58) de la columna de baja presión, formando el
- 65 líquido rico en oxígeno del líquido residual dentro de la columna de baja presión y el líquido del fondo de columna de alta presión en la columna de alta presión que se continúa refinando en la columna de baja presión;

continuar comprimiendo el segundo flujo comprimido (22), enfriar parcialmente el segundo flujo comprimido (30) dentro del intercambiador de calor principal (3), expandir el segundo flujo comprimido (31) después de haber sido parcialmente enfriado en un turboexpansor (32) para formar un flujo de escape (34) e introducir el flujo de escape en la columna de alta presión (52);

- 5 pasar un flujo de cabeza de columna de vapor rico en nitrógeno de baja presión (86) y un flujo residual de nitrógeno impuro (88) extraído de la columna de baja presión (54) al intercambiador de calor principal (3) para ayudar a enfriar el flujo de alimentación (24) después de la compresión y purificación del mismo a la temperatura adecuada para su rectificación; y
 formar al menos un producto líquido (92, 102) a partir de al menos una parte remanente del flujo de oxígeno líquido
 10 bombeado (100) o un flujo líquido rico en nitrógeno (93) a partir de una porción del vapor rico en nitrógeno (56) que se condensa y no se utiliza como reflujo.

7. Un aparato para producir un flujo de producto presurizado que comprende:

- 15 una planta de rectificación criogénica (1) configurada para rectificar un flujo de alimentación (10) que contiene oxígeno y nitrógeno;
 teniendo la planta de rectificación criogénica (1) un intercambiador de calor principal (3) que es de estructura de aleta de placa, un sistema de columna de destilación (50) operativamente asociado al intercambiador de calor principal (3) y una bomba (99);

- 20 la bomba (99) en comunicación de flujo con el sistema de columna de destilación (50) de modo que un líquido rico en oxígeno o un líquido rico en nitrógeno formado dentro del sistema de columna de destilación sea bombeado para producir un flujo de producto bombeado (100);
 caracterizado porque:

- 25 medios para dividir al menos parte del flujo de producto bombeado (100) para formar flujos secundarios (104a, 104b);

el intercambiador de calor principal (3) tiene un primer conjunto de capas (150) y un segundo conjunto de capas (152) que tiene cada uno una primera sección y una segunda sección;

- 30 el intercambiador de calor principal (3) está conectado a la bomba (99) y está configurado para calentar los flujos secundarios de al menos parte del flujo de producto bombeado (104) dentro de las primeras secciones del primer conjunto de capas y un segundo conjunto de capas (150, 152) hasta que la temperatura de los flujos secundarios (104a, 104b) supere la temperatura crítica o la temperatura de punto de rocío del flujo de producto bombeado, mientras enfría directamente uno o más flujos (24, 104b, 104c) asociados al proceso de destilación criogénica; y

- 35 el intercambiador de calor principal (3) está configurado además para combinar los flujos secundarios (104a, 104b) dentro del intercambiador de calor principal después de haber sido calentados dentro de las primeras secciones y continuando calentando los flujos secundarios combinados (104c) dentro de las segundas secciones del primer conjunto de capas (150, 152) del intercambiador de calor principal para producir el flujo de producto presurizado (106) mientras calienta o enfría otro flujo (30c, 114b) asociado al proceso de destilación criogénica dentro de las segundas secciones del segundo conjunto de capas.

40

8. El aparato de acuerdo con la reivindicación 7, donde:

la planta de rectificación criogénica (1) está configurada para producir al menos un producto líquido (92, 102); y

- 45 al menos otro flujo es un flujo de refrigeración (114b) que se calienta dentro del intercambiador de calor principal (3) para aumentar la producción de al menos un producto líquido.

9. El aparato de acuerdo con la reivindicación 8, donde:

las capas comprenden un primer conjunto de capas (150) y un segundo conjunto de capas (152) que tiene cada uno primeras secciones y segundas secciones; y

- 50 el flujo de refrigeración (114b) se calienta dentro de segundas secciones del segundo conjunto de capas (152).

10. El aparato de acuerdo con la reivindicación 9, donde la planta de rectificación criogénica (1) también tiene un sistema de refrigeración (2) conectado al intercambiador de calor principal (3) y está configurada para producir el flujo de refrigeración (114b) y para circular el flujo de refrigerante a través de la segunda sección del

- 55 segundo conjunto de capas (152).

11. El aparato de acuerdo con la reivindicación 10, donde el sistema de refrigeración (2) es un ciclo de refrigeración de circuito cerrado.

- 60 12. El aparato de acuerdo con la reivindicación 11, donde la planta de rectificación criogénica incluye un compresor principal (12) para comprimir el flujo de alimentación (10) y el sistema de refrigeración (2) contiene una válvula (112) operable para ser configurada en una posición abierta y está situada para recibir la parte (110) del flujo de alimentación (18) después de la compresión y formar así el flujo de refrigeración (114b) a partir de parte del flujo de alimentación para servir de estructura del flujo de refrigeración.

65

13. El aparato de acuerdo con la reivindicación 12, donde el sistema de refrigeración (2) tiene un

compresor de recirculación (116) conectado al intercambiador de calor principal (3) y en comunicación de flujo con las segundas secciones del primer conjunto de las capas, de modo que el flujo de refrigerante (114b), después de calentado en el intercambiador de calor principal, se comprime en el compresor de recirculación, un compresor impulsor (118) para comprimir aún más el flujo de refrigerante y una turbina (112) conectada entre el compresor impulsor y la ubicación del intercambiador de calor principal, de modo que un flujo de escape fluya desde la turbina a las segundas secciones del primer conjunto de capas.

14. El aparato de acuerdo con la reivindicación 13, donde:

10 el flujo de producto extraído del sistema de columna de destilación está compuesto por el líquido rico en oxígeno; y la planta de rectificación criogénica comprende:

el sistema de columna de destilación que incluye una columna de baja presión (54) operativamente asociada a una columna de alta presión (52), de modo que el vapor rico en nitrógeno producido como cabeza de columna de alta presión (56) se condensa para formar el reflujo (60) para la columna de alta presión y la columna de baja presión contra la vaporización de un fondo de columna de líquido rico en oxígeno (58) de la columna de baja presión, para formar así el líquido rico en oxígeno (98) a partir del líquido residual dentro de la columna de baja presión y el líquido del fondo de columna de alta presión rico en oxígeno se refina aún más en la columna de baja presión;

15 un compresor principal (12) conectado a una unidad de purificación (16) para comprimir y purificar el flujo de alimentación (10) para producir un flujo de alimentación comprimido y purificado (18);

20 un compresor impulsor (23) en comunicación de flujo con la unidad de purificación (16) para comprimir aún más un primer flujo comprimido (20) formado a partir de otra parte del flujo de alimentación comprimido y purificado (18); el intercambiador de calor principal (3) en comunicación de flujo con el compresor impulsor (23) y configurado también para formar un flujo líquido (25), un dispositivo de expansión (45) conectado al intercambiador de calor principal para expandir el flujo líquido y al menos una de las columnas de alta presión (52) y de las columnas de baja presión (54) en comunicación de flujo con el dispositivo de expansión para recibir el flujo líquido;

25 otra unidad de turbina de carga impulsora conectada al intercambiador de calor principal (3), en comunicación de flujo con la unidad de purificación (16), de modo que un segundo flujo comprimido (22) formado a partir de otra parte adicional del flujo de alimentación comprimido y purificado (18) se comprime aún más, se enfría parcialmente dentro del intercambiador de calor principal y se expande en un turboexpansor (32) para formar un flujo de escape (34) y el turboexpansor en comunicación de flujo con la columna de alta presión (52), de modo que el flujo de escape se introduce en la columna de alta presión;

30 el intercambiador de calor principal (3) también en comunicación de flujo con la columna de baja presión (54) y configurado para que un flujo de cabeza de columna de baja presión (86) y un flujo residual de nitrógeno impuro (88) pase de la columna de baja presión al intercambiador de calor principal y fluya entre el extremo frío y el extremo caliente del mismo para ayudar a enfriar el flujo de alimentación (24, 30) después de la compresión a la temperatura adecuada para su rectificación; y

35 al menos una salida para descargar al menos un producto líquido (92, 102) desde al menos otra parte del flujo de oxígeno líquido bombeado (100) y una porción de un flujo líquido rico en nitrógeno (93) producido en el sistema de columna de destilación.

40

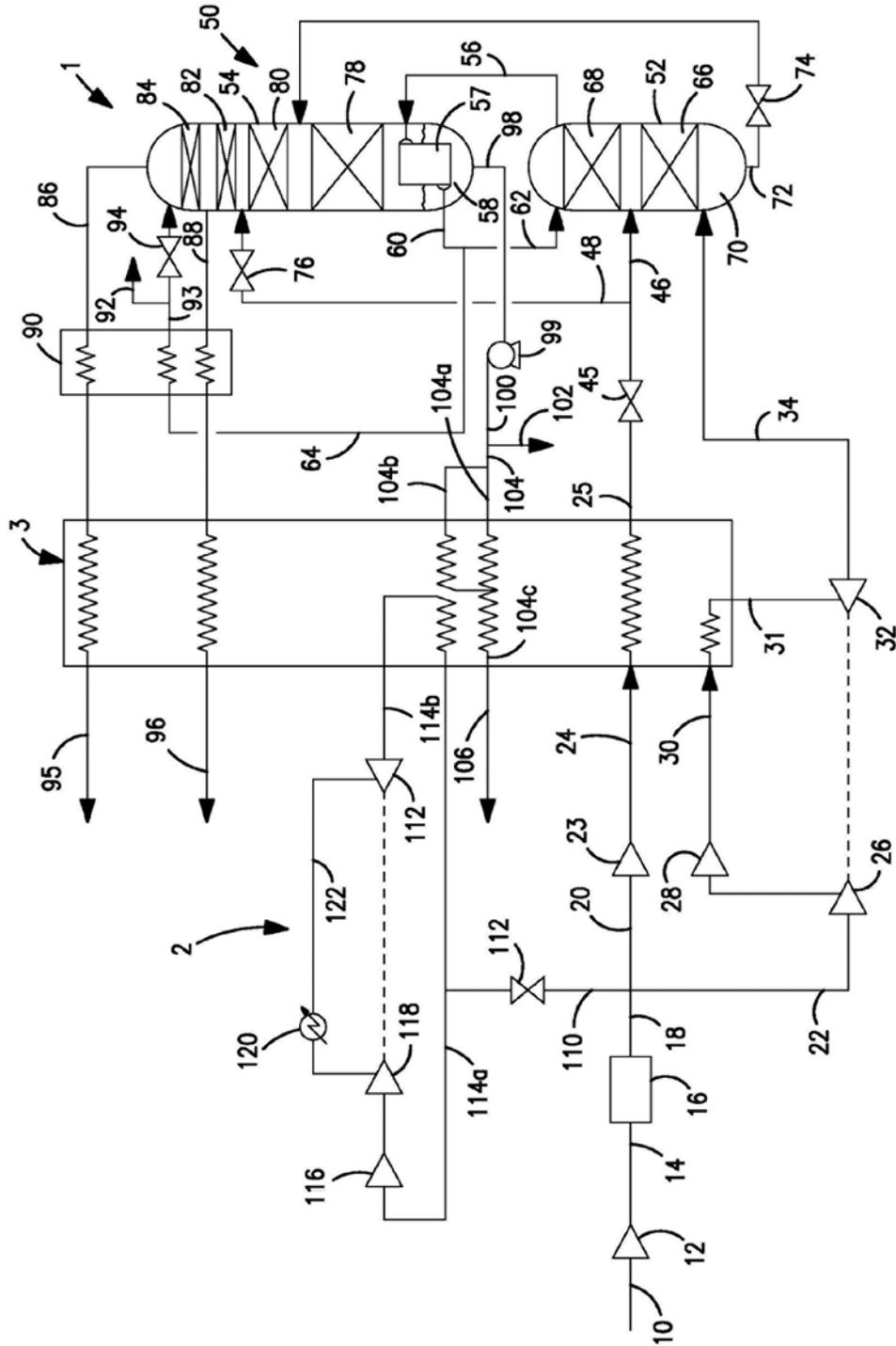


FIG. 1

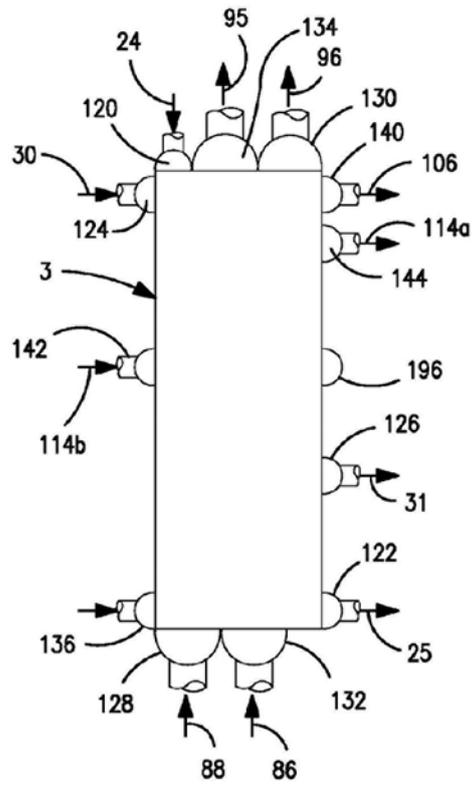


FIG. 2

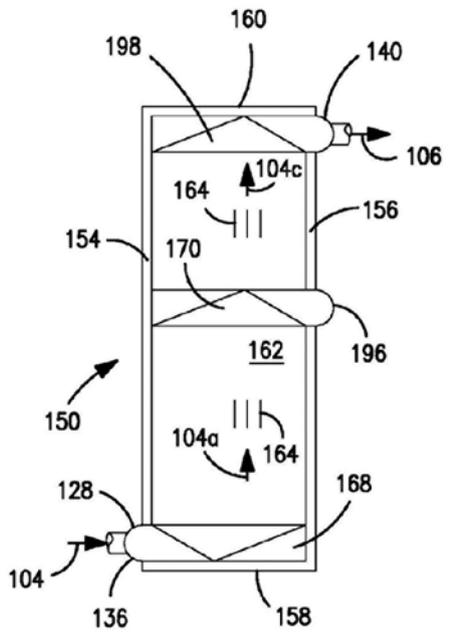


FIG. 3

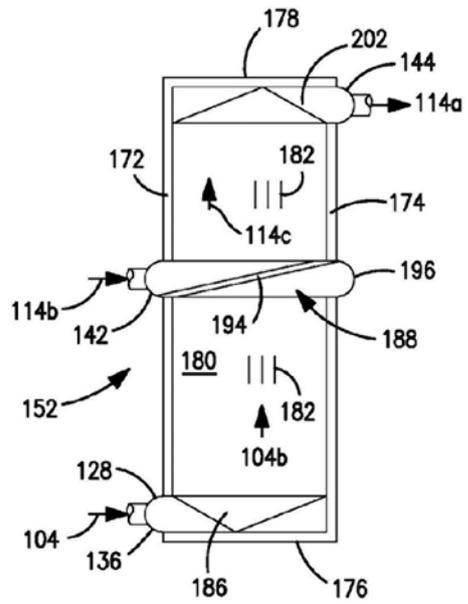


FIG. 4

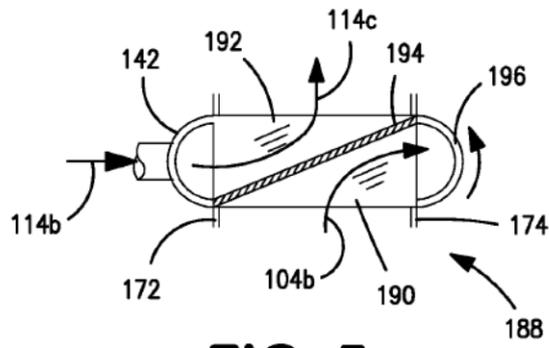


FIG. 5

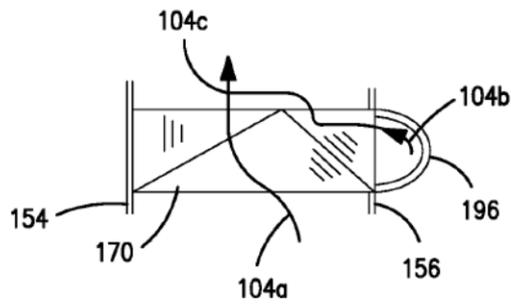


FIG. 6

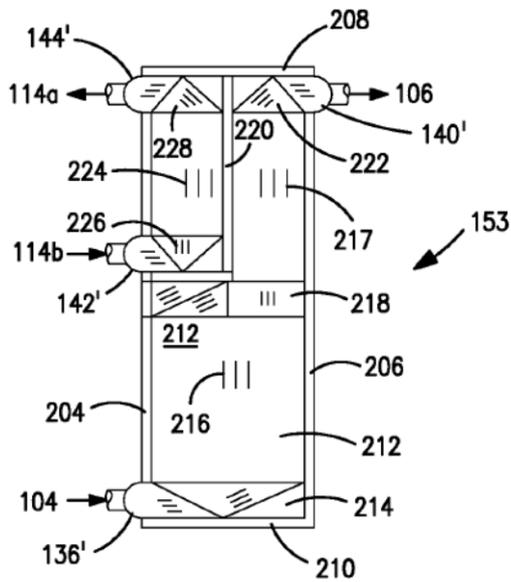


FIG. 7

