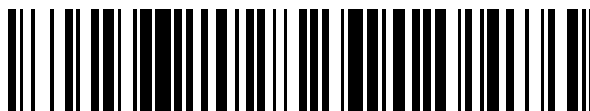


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 609 301**

51 Int. Cl.:

**F25J 3/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.06.2009 PCT/US2009/046553**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.02.2010 WO10019308**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.06.2009 E 09789765 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.10.2016 EP 2321599**

54 Título: **Método para la recuperación de kriptón y xenón**

30 Prioridad:

**14.08.2008 US 191584**

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

**19.04.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PROSSER, NEIL, MARK y  
SAUNDERS, JOHN, BERNARD**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 609 301 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Método para la recuperación de kriptón y xenón

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un método para separar aire en una unidad de separación de aire con columnas de presión mayor y menor donde se lava kriptón y xenón de una corriente de aire supercalentado dentro de una zona de contacto de transferencia de masa ubicada dentro de una parte inferior de la columna de presión mayor o dentro de una columna auxiliar conectada con la parte inferior de la columna de presión mayor para producir fondos líquidos enriquecidos con kriptón y xenón que se separan dentro de una columna de separación para producir otros fondos líquidos que están todavía más enriquecidos con kriptón y xenón.

**10 Antecedentes de la invención**

El aire ha sido por mucho tiempo separado en sus partes componentes por rectificación criogénica. En dicho proceso, el aire se comprime, purifica y enfría dentro de un termocambiador principal hasta una temperatura adecuada para su rectificación y luego se introduce en una unidad de separación de aire con columnas de presión mayor y menor que operan a presiones mayores y menores, respectivamente, para producir productos ricos en nitrógeno y oxígeno. Además, la unidad de separación de aire también puede incluir una columna de argón para separar argón de una corriente rica en argón retirada de la columna de presión menor.

20 El aire, después de enfriarse, se introduce en la columna de presión mayor para producir una fase de vapor ascendente que se torna aun más rica en nitrógeno para producir un vapor rico en nitrógeno superior que se condensa para producir corrientes líquidas ricas en nitrógeno que someten a reflujo las columnas de presión mayor y menor y así iniciar la formación de la fase líquida descendente dentro de cada una de dichas columnas. La fase líquida descendente se torna aun más rica en oxígeno a medida que desciende para producir fondos líquidos en cada una de las columnas que son ricas en oxígeno. Un líquido rico en oxígeno que se recoge dentro de la columna de presión menor mientras los fondos líquidos se recalientan para iniciar la formación de una fase de vapor ascendente dentro de dicha columna. Dicho recalentamiento se puede provocar condensando el vapor rico en nitrógeno superior de la columna de presión mayor para producir las corrientes de reflujo ricas en nitrógeno.

30 Una corriente de los fondos líquidos ricos en oxígeno de la columna de presión mayor conocida en la técnica como oxígeno líquido crudo o hervidor de líquido, se usa para introducir una corriente líquida rica en oxígeno en la columna de presión menor para mejora adicional. Las corrientes de vapor rico en nitrógeno y líquido rico en oxígeno residual que no se vaporiza en la columna de presión menor se pueden introducir en el termocambiador principal para ayudar a enfriar el aire entrante y luego tomarse como productos. Una corriente rica en argón se puede remover de la columna de presión menor y además se puede refinar en una sistema de columna o columna de argón para producir una corriente rica en argón. En todas dichas columnas, los elementos de contacto de transferencia de masa tales como embalajes estructurados, embalajes aleatorios o bandejas se pueden usar para llevar las fases líquida y de vapor en contacto íntimo para conducir la destilación que ocurre dentro de dichas columnas.

40 Se sabe que a medida que la fase líquida desciende en la columna de presión mayor, no solo se torna aun más rica en oxígeno si no en kriptón y xenón. Debido a la baja volatilidad relativa de kriptón y xenón, solo las varias etapas inferior tendrán concentraciones apreciables de kriptón y xenón. Para poder concentrar el kriptón y el xenón, también se sabe proporcionar una zona de contacto de transferencia de masa debajo del punto en el cual la corriente de oxígeno líquido crudo se toma para lavar kriptón y xenón del aire entrante. Por ejemplo, en DE 100 00 017 A1, se describe una planta de separación de aire donde el aire después de haberse enfriado totalmente se introduce en el fondo de una columna de presión mayor con dicha zona de contacto de transferencia de masa construida en el fondo de la columna de presión mayor para producir fondos líquidos que son ricos en kriptón y xenón. Una corriente de dichos fondos líquidos luego se introduce en una columna de rectificación para producir un vapor rico en oxígeno superior que se vuelve a introducir en la columna de presión mayor y fondos líquidos de kriptón-xenón crudos que se pueden tomar y refinar adicionalmente. De manera similar, en US 2006/0021380, se produce una corriente de fondos líquidos rica en kriptón y xenón en una zona de contacto de transferencia de masa construida en el fondo de la columna de presión mayor. Los fondos líquidos luego se producen en una columna de destilación colocada en la parte superior de la columna de argón. Un condensador para la columna de argón recalienta dicha columna de destilación para producir un líquido residual adicionalmente enriquecido con kriptón y xenón. Una corriente del líquido residual luego se separa dentro de una columna de separación para producir fondos líquidos enriquecidos en kriptón-xenón que se pueden refinar adicionalmente.

55 Como se describe, la presente invención, entre otras ventajas, proporciona un método de separación de aire donde se puede recuperar más kriptón de forma eficaz del aire entrante que en las patentes de la técnica previa descritas anteriormente.

**Compendio de la invención**

La presente invención proporciona un método para separar aire donde el aire se comprime, purifica y enfría. El aire se enfría de modo que se forme una corriente de aire supercalentado desde parte del aire que tiene una temperatura de al menos 5 K por encima de una temperatura de punto de rocío del aire a una presión de la corriente de aire supercalentado.

El aire se introduce en una unidad de separación de aire que comprende una columna de presión mayor y una columna de presión menor y el aire se separa en fracciones de componentes enriquecidas con al menos oxígeno y nitrógeno dentro de la unidad de separación de aire. Se usan corrientes de las fracciones de componentes para ayudar a enfriar el aire.

Se lava kriptón y xenón de al menos parte de la corriente de aire supercalentado dentro de una zona de contacto de transferencia de masa ubicada en una parte inferior de la columna de presión mayor o en una columna auxiliar conectada con la parte inferior de la columna de presión mayor de modo que se produzcan los fondos líquidos ricos en kriptón y xenón. La zona de contacto de transferencia de masa se opera con una relación líquido a vapor de entre 0,04 y 0,15. Una corriente del líquido rica en kriptón y xenón se separa dentro de una columna de separación con un gas de separación, produciendo así fondos líquidos ricos en kriptón-xenón con una mayor concentración de kriptón y xenón que el líquido rico en kriptón y xenón producido en la zona de contacto de transferencia de masa. Una corriente rica en kriptón-xenón compuesta por los fondos líquidos ricos en kriptón-xenón se saca de la columna de separación.

El problema en las patentes de la técnica previa es que la relación líquido a vapor es muy baja en las secciones inferiores de columnas de presión mayor donde se concentrará kriptón y xenón. Cuando el aire entra en dicha sección de columna a una temperatura de punto de rocío o cercana, dada la baja relación líquido a vapor, habrá más kriptón en un estado de vapor y por lo tanto, no se recupera en el líquido. En la presente invención, dado que el aire que entra al fondo de la columna de presión mayor está en un estado suspendido, la relación líquido a vapor puede aumentar dando como resultado más kriptón lavado a partir del vapor y por lo tanto presente dentro del líquido rico en kriptón y xenón y como tal, la presente invención permite una mayor recuperación de kriptón que en la técnica previa. También, dado que esto se realiza simplemente introduciendo el aire en un estado supercalentado, la presente invención se realiza sin una penalidad energética excesiva. Otras ventajas son evidentes a partir de la descripción a continuación de otros aspectos de la presente invención.

La zona de contacto de transferencia de masa se puede ubicar en la región inferior de la columna de presión mayor, directamente debajo de un punto en cual se remueve una corriente de oxígeno líquido crudo de allí para mejora adicional dentro de la unidad de separación de aire.

La unidad de separación de aire se puede proporcionar con una columna de argón asociada operativamente a la columna de presión menor para rectificar una corriente que contiene argón y así producir una columna rica en argón superior y una corriente rica en argón formada a partir de la columna rica en argón superior. Se observará que como se usa en la presente y en las reivindicaciones, el término "corriente rica en argón" comprende corrientes que tienen cualquier concentración de argón. Por ejemplo, una corriente rica en argón puede tener concentraciones suficientemente bajas de oxígeno y nitrógeno para calificar como una corriente de producto. Dichas corrientes ricas en argón se producen por una columna o columnas con una cantidad suficiente de etapas proporcionadas por empaque estructurado de baja caída de presión. También, dichas corrientes ricas en argón pueden ser corrientes de productos intermedias conocidas como corrientes de argón crudo para ser procesadas adicionalmente por dicho medio como unidades des-oxo para reducir la concentración de oxígeno y columnas de nitrógeno para reducir la concentración de nitrógeno en la producción de producto de argón. Al menos parte de la corriente de oxígeno líquido crudo se reduce en presión y se introduce en intercambio térmico indirecto con una corriente de vapor rica en argón. Como resultado, se produce una corriente líquida rica en argón se que se introduce, al menos en parte, en la columna de argón como reflujo y la al menos una parte de la corriente de oxígeno líquido crudo se vaporiza parcialmente para formar así una corriente de fracción de vapor y una corriente de fracción líquida a partir de la vaporización parcial. La corriente de fracción de vapor se introduce en la columna de presión menor y la corriente de fracción líquida se introduce en una de la columna de presión menor y la columna de presión mayor.

El aire se puede enfriar a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiador principal. Una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor. La corriente líquida rica en oxígeno se puede bombear y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se puede vaporizar o vaporizar artificialmente dentro del termocambiador principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado. El aire después de haberse comprimido y purificado se divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria. Al menos parte de la primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiador principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y por lo tanto se reduce en presión para producir una corriente de aire que contiene líquido. Al respecto, el término "corriente de aire que contiene líquido" como se usa en la presente y en las reivindicaciones se refiere a una corriente de aire que es líquida o es un flujo de dos fases de un líquido y un vapor.

La corriente de aire que contiene líquido se introduce en su totalidad en la columna de presión mayor. La segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiator principal para producir la corriente de aire supercalentado. Una corriente de aire líquida artificial se remueve de la columna de presión mayor, por encima de o en un punto en el cual la corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión mayor, y se introduce en la columna de presión menor. La corriente de fracción líquida se introduce en una columna de presión mayor a un nivel en el cual la corriente de oxígeno líquido crudo se saca sin mezclar la corriente de oxígeno líquido crudo para aumentar la recuperación de kriptón y xenón.

En una realización específica de la presente invención, parte de la corriente de aire supercalentado se puede introducir en la zona de contacto de transferencia de masa y una parte restante de la corriente de aire supercalentado se puede introducir en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación y para formar así el gas de separación. La parte restante de la corriente de aire supercalentado después de haber pasado por el recalentador y al menos parcialmente condensada se combina con la corriente de aire líquida artificial para introducir en la columna de presión menor. Un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que tiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la columna de presión menor.

En otra realización de la presente invención, la corriente de aire supercalentado, en su totalidad, se puede introducir en la zona de contacto de transferencia de masa. Un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que tiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa junto con la corriente de aire supercalentado. Una primera parte de la primera corriente de aire complementaria se puede comprimir adicionalmente dentro de un compresor de caldera de producto y una segunda parte de la primera corriente de aire complementaria se puede comprimir adicionalmente y enfriar totalmente dentro del termocambiator principal. La segunda parte de la primera corriente de aire complementaria se introduce en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación, produciendo así el gas de separación y la segunda parte de la primera corriente de aire complementaria después de haber pasado a través del recalentador y al menos parcialmente condensada se reduce en presión y se introduce en la columna de presión mayor.

El aire se puede enfriar a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiator principal. Una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor. La corriente líquida rica en oxígeno se bombea y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiator principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado. El aire después de haberse comprimido y purificado se divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria. La primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiator principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y se reduce en presión para formar una corriente de aire que contiene líquido. En esta realización, la corriente de aire que contiene líquido se divide en una primera corriente de aire que contiene líquido complementaria y una segunda corriente de aire que contiene líquido complementaria. La primera corriente de aire que contiene líquido complementaria se introduce en la columna de presión mayor y la segunda corriente de aire que contiene líquido complementaria se reduce adicionalmente en presión y se introduce en la columna de presión menor.

La segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiator principal para producir la corriente de aire supercalentado. La corriente de fracción líquida se introduce en la columna de presión menor, parte de la corriente de aire supercalentado se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa y una parte restante de la corriente de aire supercalentado se introduce en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación para producir así el gas de separación. La parte restante de la corriente de aire supercalentado después de haber pasado por el recalentador se introduce junto con la segunda corriente de aire que contiene líquido complementaria en la columna de presión menor. Un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que tiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la columna de presión menor.

En otra realización, la corriente de aire supercalentado, en su totalidad, se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa. Una corriente de vapor que contiene nitrógeno y oxígeno se remueve de la columna de presión mayor en o por encima del punto de introducción de la corriente de aire que contiene líquido y se introduce en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación. La corriente de vapor que contiene nitrógeno y oxígeno después de haber pasado a través del recalentador se introduce en la columna de presión mayor.

El aire se puede enfriar a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiator principal. Una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor. La corriente líquida rica en oxígeno se bombea y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiator principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado. El aire después de haberse comprimido y purificado se

divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria. La primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiador principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y se reduce en presión para formar una corriente de aire que contiene líquido. La corriente de aire que contiene líquido se introduce en su totalidad en la columna de presión mayor y la segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiador principal para producir la corriente de aire supercalentado. Una corriente de aire líquida artificial se remueve de la columna de presión mayor, por encima de o en un punto en el cual la corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión mayor, y se introduce en la columna de presión menor.

La corriente de oxígeno líquido crudo se divide al menos en la primera corriente de oxígeno líquido crudo complementaria y una segunda corriente de oxígeno líquido crudo complementaria. En dicha realización, la zona de contacto de transferencia de masa se ubica en la columna auxiliar conectada con la parte inferior de la columna de presión mayor. La segunda corriente de oxígeno líquido crudo complementaria se introduce en la columna auxiliar junto con la corriente de fracción líquida en una dirección contracorriente a la parte de la corriente de aire supercalentado para lavar el kriptón y xenón desde allí y una corriente de aire superior vuelve desde la columna auxiliar a la columna de presión mayor. La columna auxiliar está conectada con la columna de separación de modo que la corriente del líquido rico en kriptón y xenón se introduce en la columna de separación. La columna de separación está en comunicación fluida con la columna de presión menor de modo que una corriente de un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno producida en la columna de separación se introduce en la columna de presión menor junto con la corriente de fracción de vapor.

En otra realización, el aire se enfría a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiador principal. Una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor. La corriente líquida rica en oxígeno se bombea y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiador principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado. El aire después de haberse comprimido y purificado se divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria. La primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiador principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y se reduce en presión para formar una corriente de aire que contiene líquido. La segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiador principal para producir la corriente de aire supercalentado. La corriente de aire que contiene líquido se divide en una primera corriente de aire que contiene líquido y una segunda corriente de aire que contiene líquido. La primera corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión mayor y la segunda corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión menor.

La corriente de oxígeno líquido crudo se introduce en una columna de presión media para producir una columna superior que contiene nitrógeno y fondos de columna que contiene oxígeno. Una corriente de fondos de columna líquida que contiene oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida que contiene oxígeno se introduce en la columna de presión menor. La columna de presión media se recalienta con parte de una corriente que contiene nitrógeno removida de la columna de presión mayor y se somete a reflujo condensando una corriente superior que contiene nitrógeno de la columna superior que contiene nitrógeno en un recalentador intermedio. La columna de separación se recalienta con una parte restante de la corriente que contiene nitrógeno. La parte de la corriente que contiene nitrógeno y la parte restante de la corriente que contiene nitrógeno se usan para proporcionar reflujo a la columna de presión mayor y un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la columna de presión menor.

Además, la zona de contacto de transferencia de masa se ubica en una parte inferior de la columna de presión mayor, directamente debajo de un punto en el cual se remueve la corriente de oxígeno líquido crudo de allí. Una corriente de vapor rica en nitrógeno se saca de la parte superior de la columna de presión menor y constituye una corriente adicional de las fracciones de componentes. La corriente de vapor rica en nitrógeno se introduce en el termocambiador principal. Una primera parte de la corriente de vapor rica en nitrógeno se calienta totalmente dentro del termocambiador principal y una parte restante de la corriente de vapor rica en nitrógeno se calienta parcialmente y se saca del termocambiador principal. La parte restante después de haberse sacado del termocambiador principal se introduce en un turboexpansor para producir una corriente de escape y la corriente de escape se vuelve a introducir en el termocambiador principal y calentar totalmente para generar refrigeración. En cualquier realización de la presente invención, la primera corriente de aire complementaria o parte de esta según sea aplicable se puede reducir en presión dentro de un expansor de líquido.

### Breve descripción de los dibujos

Mientras que la memoria descriptiva concluye con reivindicaciones que apuntan particularmente a la materia que los Solicitantes consideran su invención, se cree que la invención se entenderá mejor al considerarse con relación a los dibujos adjuntos donde:

La figura 1 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo de un proceso de una planta de separación de aire diseñada para realizar un método de acuerdo con la presente invención;

La figura 2 es una realización alternativa de la planta de separación de aire ilustrada en la figura 1;

La figura 3 es una realización alternativa de la planta de separación de aire ilustrada en la figura 1;

5 La figura 4 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo de un proceso de otra realización de una planta de separación de aire diseñada para realizar un método de acuerdo con la presente invención;

La figura 5 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo de un proceso de otra realización de una planta de separación de aire diseñada para realizar un método de acuerdo con la presente invención que incorpora una zona de contacto de transferencia de masa separada ubicada en una columna auxiliar; y

10 La figura 6 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo de un proceso de otra realización de una planta de separación de aire diseñada para realizar un método de acuerdo con la presente invención.

### Descripción detallada

Con referencia a la figura 1, se ilustra una planta de separación de aire 1 para realizar un método de acuerdo con la presente invención.

15 Una corriente de aire 10 se comprime en un compresor 12 para producir una corriente de aire comprimido 14 con una presión entre 520 kPa (5.2 bar; 75 psia) y 650 kPa (6.5 bar; 95 psia). Después de remover el calor de la compresión dentro de un refrigerador posterior 16, la corriente de aire comprimido 14 se introduce en una unidad de prepurificación 16 para producir una corriente de aire comprimido y purificado 18. La unidad de prepurificación 16 como se sabe en la técnica contiene típicamente capas de alúmina y/o tamiz molecular que operan de acuerdo con un ciclo de adsorción de giro de presión y/o temperatura donde se adsorbe humedad y otras impurezas de mayor ebullición. Como se sabe en la técnica, dichas impurezas de mayor ebullición son típicamente dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos. Mientras una capa está en operación, se regenera otra capa. Otros procesos se pueden usar tales como enfriamiento de agua en contacto directo, enfriamiento a base de refrigeración, directo contacto con agua fría y separación de fases.

25 La corriente de aire comprimido y purificado 18 luego se divide en una primera corriente de aire complementaria 20, una segunda corriente de aire complementaria 22 y una tercera corriente de aire complementaria 24. La primera corriente de aire complementaria 20 que puede tener una velocidad de flujo de entre 24 por ciento y 35 por ciento de la de la corriente de aire comprimido y purificado 18, se pasa a un elevador o compresor de caldera de producto 26 y después de la remoción del calor de compresión dentro de un refrigerador posterior 28 se introduce en termocambiator principal 30 para vaporizar o vaporizar artificialmente una corriente de oxígeno líquido bombeado 126 a ser descrito. Después del pasaje de la primera corriente de aire complementaria 20 a través del termocambiator principal 30, se produce una corriente de aire enfriada totalmente 32. Se observará que la frase "vaporizar o vaporizar artificialmente" cuando se usa con relación a una corriente líquida bombeada y como se usa en la presente y en las reivindicaciones se refiere a que la corriente bombeada puede estar por encima o debajo de una presión supercrítica tras el bombeado de modo que si está por encima de la presión supercrítica, un líquido de fase densa se convierte en un vapor de fase densa y si está por debajo de la presión supercrítica, el líquido bombeado se somete a cambio de estado de un líquido a un vapor. La tercera corriente de aire complementaria 24 tiene preferentemente una velocidad de flujo de entre 5 por ciento y 20 por ciento de la corriente de aire comprimido y purificado 18 y se pasa al compresor de elevador 34 y se comprime a una presión entre 690 kPa (6,9 bar; 100 psia) y 1240 kPa (12,4 bar; 180 psia).

Después de remover el calor de compresión dentro de un refrigerador posterior 36, la tercera corriente de aire complementaria 24 se enfría parcialmente dentro del termocambiator principal 18 y se introduce en un turboexpansor 38 que se puede acoplar con el compresor de elevador 34 para producir una corriente de escape 40 que se usa para impartir refrigeración. La segunda corriente de aire complementaria 22 se enfría parcialmente dentro del termocambiator principal 30 para producir una corriente de aire supercalentado 42.

Como una observación adicional, el término "enfriado totalmente" como se usa en la presente y en las reivindicaciones significa enfriado hasta una temperatura en el extremo frío del termocambiator principal 30. El término "totalmente caliente" se refiere a caliente hasta una temperatura del extremo caliente del termocambiator principal 30. El término "enfriado parcialmente" se refiere a enfriado hasta una temperatura entre las temperaturas de extremos caliente y frío del termocambiator principal 30. Por último, el término "parcialmente caliente" se refiere a caliente hasta una temperatura intermedia entre las temperaturas de extremos caliente y frío del termocambiator principal 30.

Se observa que aunque en la realización de la figura 1 y otras realizaciones mostradas en la presente que el termocambiator principal 30 se muestra como una unidad simple, se pretende que dicho termocambiator principal 30 esté formado por un componente separado. Por ejemplo, un termocambiator separado se podría proporcionar para vaporizar o vaporizar artificialmente la corriente de oxígeno líquido bombeada a través de termocambiator

indirecto con la primera corriente de aire complementaria 20. Por otra parte, el termocambiador de subenfriamiento 68 se puede combinar con el termocambiador principal 30 de modo que se forme un solo dispositivo de termocambiador. También, el termocambiador principal 30 se podría dividir en sus extremos caliente y frío. Finalmente, aunque la presente invención no se limita a un tipo específico de construcción para el termocambiador principal 30 o los componentes de este, se entiende que podría incorporar construcción aleta de placa de aluminio de brasa.

El aire, comprimido y enfriado de la forma descrita anteriormente, luego se rectifica dentro de una unidad de separación de aire 44 que tiene una columna de presión mayor 46, una columna de presión menor 48 y una columna de argón 50 para producir productos de oxígeno, nitrógeno y argón. Cada una de las columnas antes mencionadas tiene elementos de contacto de transferencia de masa para poner en contacto una fase de vapor ascendente con una fase líquida descendente dentro de la columna relevante. Dichos elementos de contacto de transferencia de masa pueden ser empaque estructurado, empaque aleatorio o bandejas o una combinación de dichos elementos. Al respecto, en la columna de presión mayor 46 y la columna de presión menor 48, la fase de vapor ascendente se torna aun más rica en nitrógeno a medida que asciende y la fase líquida descendente se torna aun más rica en oxígeno. En la columna de presión mayor 46, dicha fase líquida descendente también se torna aun más rica en kriptón y xenón a medida que desciende. Debido a la baja volatilidad relativa de kriptón y xenón, solo las varias etapas inferiores tendrán concentraciones apreciables de kriptón y xenón. En las columnas de presión mayor y menor 46, se forma una columna superior de vapor rica en nitrógeno en la parte superior de cada una de las columnas y en la columna de presión menor 48 se forman fondos de columna líquida rica en oxígeno. En la columna de argón 50, se separa oxígeno de argón y como resultado, la fase líquida descendente en esta columna se torna aun más rica en oxígeno y la fase de vapor ascendente se torna aun más rica en argón.

Más específicamente, la corriente de aire enfriada totalmente 32 se introduce en un expansor de líquido 33 para producir una corriente de aire que contiene líquido 52 que se introduce en una ubicación intermedia de la columna de presión mayor 46. Una parte 54 de la corriente de aire supercalentado 42 se introduce en la base de la columna de presión mayor 46 y la corriente de escape 40 se introduce en la columna de presión menor 48. Una parte restante 56 de la corriente de aire supercalentado 42 se introduce en un recalentador 58 ubicado en una columna de separación 60 para formar una corriente 62 que esté total o parcialmente condensada.

Se observa que la disposición del compresor de elevador 34 y turbina 38 se prefiere porque reduce la cantidad de aire necesaria para producir una cantidad dada de refrigeración. La refrigeración se produce también por expansión de líquido por el expansor de líquido 33. Sin embargo, hay otras posibilidades de refrigeración, por ejemplo, expansión de nitrógeno y desechos. Otra posibilidad adicional es remover una corriente de la columna de presión mayor con una composición similar al aire, calentando totalmente esta en el termocambiador principal y luego comprimiendo dicha corriente en el compresor de elevador 34 con fines de refrigeración. La ventaja de dicha posible realización sería proporcionar más aire supercalentado a la zona de contacto de transferencia de masa y a su vez lavar más kriptón y xenón de dicho aire supercalentado. En el otro extremo, es posible remplazar expansor de líquido 33 con una válvula dado que la producción de refrigeración se perdería en dicha posible realización de la presente invención.

En la parte inferior de la columna de presión mayor 46, se proporciona una sección de columna adicional debajo del punto en el cual se saca una corriente de oxígeno líquido crudo 64 para definir una zona de contacto de transferencia de masa. Esta parte contiene entre 2 y 10 bandejas reales, preferentemente entre 3 y 8 o su equivalente en empaque. Como se describe, la sección de columna adicional se puede proporcionar por una columna auxiliar adicional 146 a ser descrita. En la presente realización, sin embargo, la fase líquida descendente dentro de la columna de presión mayor 46 en dicha sección lava kriptón y xenón de la fase de vapor ascendente que se inicia dentro de la columna de presión mayor 46 mediante introducción de parte 54 de la corriente de aire supercalentado 42. Como se indica anteriormente, la introducción del aire principal en un estado supercalentado permite que esta zona de contacto de transferencia de masa se opere en una relación líquido a vapor mayor que la que se obtendría eficazmente de otro modo con un aire más frío proporcionado para aumentar la producción de kriptón y xenón. Al respecto, la corriente de aire supercalentado 42 tiene una temperatura de al menos 5 K por encima de una temperatura de punto de rocío del aire a una presión de la corriente de aire supercalentado 42. Como se describe, otros rasgos de la planta de separación de aire 1 ayudan a aumentar adicionalmente la recuperación de kriptón-xenón.

Se observa que el control de la relación líquido a vapor se efectúa por la cantidad de líquido introducido en esta zona de contacto de transferencia de masa. La cantidad de líquido se controla controlando la velocidad de flujo de la corriente de oxígeno líquido crudo 64. Al respecto, preferentemente, esta zona de contacto de transferencia de masa se opera con una relación líquido a vapor de entre 0,04 y 0,15. En una relación líquido a vapor por debajo de 0,04 no habrá suficiente líquido para lavar el kriptón. En el otro extremo, por encima de 0,15 no se cree que haya un beneficio adicional. Dado que la parte inferior de la columna de presión mayor 46 forma la zona de contacto de transferencia de masa, la fase de vapor, después de entrar en contacto con la fase líquida descendente, continúa ascendiendo dentro de la columna de presión mayor. Sin embargo, este lavado del kriptón y xenón produce un líquido rico en kriptón y xenón en el fondo de la columna de presión mayor.

Una corriente 65 del líquido rico en kriptón y xenón se reduce en presión por una válvula de expansión 66 y se introduce en la parte superior de la columna de separación 60 para ser separada por vapor en ebullición producido por el recalentador 58 como un gas de separación. Esto produce fondos líquidos ricos en kriptón-xenón dentro de la columna de separación 60 con una mayor concentración de kriptón y xenón que el líquido rico en kriptón y xenón producido en la zona de contacto de transferencia de masa en el fondo de la columna de presión mayor 46. Una corriente rica en kriptón-xenón 67 que está compuesta por los fondos líquidos ricos en kriptón-xenón se puede sacar y procesar adicionalmente para producir productos de kriptón y xenón. Se observa aquí que el flujo descendente de la fase líquida se debe controlar no solo para controlar la relación líquido a vapor sino también para evitar concentraciones poco seguras de hidrocarburos, óxido nitroso y dióxido de carbono de la recolección en la corriente rica en kriptón-xenón 67.

Como se menciona anteriormente, una corriente de oxígeno líquido crudo 64 se saca de la columna de presión mayor 46. Esta corriente se subenfía dentro de una unidad de subenfriamiento 68. Una primera parte 69 de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 después de haberse subenfriado se expande mediante válvula en una válvula 70 y se introduce en la columna de presión menor 48 para mejora adicional. Una segunda parte 72 de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 se expande en una válvula de expansión 74 y luego se introduce en una cubierta o lado de ebullición de un termocambiator 76 para condensar o parcialmente condensar una corriente rica en argón 78 formada de vapor superior rico en argón de la columna de argón 50. La condensación vaporiza parcialmente la segunda parte 72 de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 para formar una corriente de fracción de vapor 79 y una corriente de fracción líquida 80. La corriente de fracción de vapor se introduce en la columna de presión menor 48 y la corriente de fracción líquida se bombea por una bomba 82 y se introduce en la columna de presión mayor en el mismo nivel de dónde se extrajo la corriente de oxígeno líquido crudo. La corriente de fracción líquida 80 se introduciría normalmente en la columna de presión menor 48. Sin embargo, la vaporización parcial que ocurre dentro del termocambiator 76 actúa para concentrar la mayor parte del kriptón y xenón dentro de la corriente de fracción líquida 80 que ya pasó en la corriente de oxígeno líquido crudo 64. La reintroducción de la corriente de fracción líquida 80 entonces tiende a aumentar la recuperación de kriptón y xenón. Además, sacar dicha corriente de fracción líquida 80 evita la acumulación de contaminantes poco seguros. Un punto adicional que vale la pena destacar es que la bomba 82 podría posiblemente dispensarse si el termocambiator 76 estuviera ubicado a una altura suficiente para permitir que la corriente de fracción líquida 80 desarrolle la punta suficientemente como para entrar en la columna de presión mayor 46. Además, la primera parte 69 de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 ayuda a potenciar la recuperación de argón. Sin embargo, como se puede apreciar, la primera parte 69 de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 también contiene kriptón y xenón y se podría eliminar junto con la válvula 70 para potenciar la recuperación de dichos elementos a costa de la recuperación de argón.

La condensación de la corriente rica en argón 78 produce una corriente de líquido y vapor de argón 84 que se introduce en un separador de fases 86 para producir una corriente de venteo de argón 88 a medida que un vapor y un argón someten a reflujos la corriente 90 a la columna de argón 50. El contenido de vapor de la corriente 84 es pequeño, generalmente menor que 1 por ciento del flujo total. La corriente de producto de argón 91 se remueve de la parte superior o cerca de la parte superior de la columna de argón 50. La corriente de venteo 88 se remueve para evitar la incursión de nitrógeno en la corriente de producto de argón 91 cuando la columna de argón 50 está diseñada para producir una corriente de producto de argón contrario a una corriente de argón crudo para mayor procesamiento. La columna de argón 50 recibe una corriente de vapor que contiene argón y oxígeno 92 para separación del oxígeno del argón. Una corriente líquida 94 rica en oxígeno se devuelve a la columna de presión menor 48 desde la columna de argón 50. Dependiendo de la cantidad de etapas de separación y el tipo de elementos de contacto de transferencia de masa usados, por ejemplo, empaque estructurado de baja caída de presión, es posible obtener una separación virtualmente completa de oxígeno de modo que la corriente de producto de argón 91 esté disponible como un producto sin necesidad de procesamiento adicional. Típicamente, la columna de argón 50 se dividiría en dos columnas para estos fines. Sin embargo, es posible conducir una menor separación de modo que la corriente de producto de argón 91 sea una corriente de argón crudo para ser procesado adicionalmente en una unidad desoxo para eliminar catalíticamente oxígeno y una columna de separación de nitrógeno para separar cualquier nitrógeno dentro del producto de argón crudo.

Además de la corriente de oxígeno crudo 64, otras corrientes proporcionadas a la columna de presión menor 48 incluyen una corriente que contiene oxígeno y nitrógeno 96 formada desde la columna superior producida en la columna de separación 60. Al respecto, la columna de separación 60 operaría algo por encima de la presión de la columna de presión mayor 46 para permitir que la corriente que contiene oxígeno y nitrógeno 96 fluya a la columna de presión menor 48. Además, una corriente de aire líquido artificial 98, denominado así porque tiene una estructura similar al aire, está expandida por válvula e introducida en la columna de presión menor 98 junto con la corriente 62 formada desde una segunda parte 56 de la corriente de aire supercalentado 42 que está expandida por válvula en una válvula de expansión 102 para dicho fin. La introducción de la corriente de aire líquido artificial 98 ayuda a mantener la recuperación de argón y oxígeno que de otro modo se reduciría proporcionando todo el aire líquido a la columna de presión mayor 46. Al respecto, el término "corriente de aire líquido artificial" como se usa en la presente y en las reivindicaciones se refiere a una corriente que contiene al menos 17 por ciento de oxígeno y al menos 78 por ciento de nitrógeno.

Las columnas de presión mayor y menor 46 y 48 están unidas juntas en una relación de transferencia térmica por un recalentador de condensador 104. El recalentador de condensador 104 puede ser del tipo de flujo descendente de



una vez. También puede ser un termosifón convencional o un tipo de flujo descendente con recirculación bombeada. Una corriente 106 de vapor rico en nitrógeno, producida como columna superior en la columna de presión mayor 46 se introduce en el recalentador de condensador 104 y se condensa contra vaporización de líquido rico en oxígeno que recoge como fondos líquidos dentro de la columna de presión menor 48. Una corriente de nitrógeno líquido resultante se divide en la primera y segunda corriente de reflujo de nitrógeno líquido 108 y 110 que se usan en el reflujo de las columnas de presión mayor y menor 46 y 48. Al respecto, la segunda corriente de reflujo de nitrógeno líquido 110 se subenfria dentro de la unidad de subenfriamiento 68 y una parte de esta como una corriente líquida 112 se expande por válvula dentro de la válvula de expansión 114 y se introduce en la columna de presión menor 48 y opcionalmente, una parte restante como una corriente de nitrógeno líquido 116 se puede tomar como un producto. Además, aunque no se ilustra, los productos de nitrógeno de presión mayor se pueden tomar de la corriente 106 del vapor rico en nitrógeno o corriente de reflujo de nitrógeno líquido 108.

Una corriente de producto de nitrógeno compuesta por columna superior de la columna de presión menor 48 se puede calentar parcialmente dentro de la unidad de subenfriamiento 68 para ayudar en su tarea de subenfriar junto con una corriente de desechos 120 que se remueve para controlar la pureza de la corriente de producto de nitrógeno 118. Ambas dichas corrientes luego se calientan totalmente dentro del termocambiador principal 30 para ayudar a enfriar las corrientes de aire entrantes. Se observa que la corriente de desechos 120 se podría usar de una forma conocida en la técnica en la regeneración de unidad de depurificación 18.

El líquido rico en oxígeno residual dentro de la columna de presión menor 48 que permanece después de la vaporización de los fondos de columna ricos en oxígeno por el recalentador de condensador 104 se puede remover como una corriente de producto de oxígeno 122 que se bombea por una bomba 124 para producir una corriente de oxígeno bombeado 126 y opcionalmente, una corriente de producto de oxígeno líquido presurizado 128. La corriente de producto de oxígeno bombeado 126 se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiador principal 30 contra el licuado de la primera corriente de aire proporcionada 20, para producir así una corriente de producto de oxígeno 130 a presión.

Con referencia a la figura 2, se ilustra que una planta de separación de aire 2 que difiere de la realización de la figura 1 en cuanto la columna de separación 60 opera en la presión nominal de la columna de presión mayor 46, en vez de en la figura 1, la presión nominal de la columna de presión menor 48. Toda la corriente de aire supercalentado 42 se introduce en la columna de presión mayor junto con una corriente que contiene nitrógeno y oxígeno 132 producida como columna superior dentro de la columna de separación 60. Al respecto, la columna de separación 60 operaría a presión algo mayor que la columna de presión mayor 46 debido a caída de presión dentro de la corriente 132. La válvula 66 se puede eliminar en cuanto no hay necesidad de dicha válvula. Sin embargo, debido a la presión de operación mayor de la columna de separación 60, la corriente proporcionada al recalentador debe estar a una presión mayor. Al respecto, el recalentamiento de la columna de separación 60 se produce removiendo una parte 132 de la primera corriente de aire complementaria 20 desde una etapa intermedia de compresión de compresor de elevador 26 a una presión entre 1100 kPa (11 bar; 160 psia) y 1720 kPa (17,2 bar; 250 psia). Después de remover el calor de compresión de parte 132 de la primera corriente de aire complementaria 20 en un refrigerador posterior 132, dicha corriente se enfría totalmente en un termocambiador principal 30' con un pasaje para dicho fin y se introduce la corriente en el recalentador 58. La corriente resultante 136, que se condensa total o parcialmente, se reduce en presión por una válvula de expansión 138 y se introduce en la columna de presión mayor 46 en la misma ubicación que la corriente de aire que contiene líquido 52 o con corriente de aire que contiene líquido 52. De manera alternativa, la corriente 136 se puede proporcionar con corriente de aire líquido artificial 98 a la columna de presión menor 48. Como se puede apreciar, la realización ilustrada en la figura 2 elimina la penalidad de recuperación de argón que la recuperación de kriptón y xenón provoca en la figura 1. Sin embargo, los requisitos de aire proporcionado de mayor presión aumentan las extensiones de ejecución y complejidad adicional es necesaria en el diseño de compresor de elevador 26 y termocambiador principal 30'.

Aunque no se ilustra, en vez de modificación del compresor de elevador 26 para proporcionar una parte 132 de la primera corriente de aire complementaria 20 desde una etapa intermedia de compresión del compresor de elevador 26 para fines de recalentamiento dentro de la columna de separación 60 y modificación del termocambiador principal 30, es posible comprimir con frío parte de la corriente de aire supercalentado 42 para dichos fines. La corriente comprimida fría resultante luego se puede usar para dicha tarea de recalentamiento. Mientras la compresión fría necesita menor energía que la compresión de extremo caliente que se muestra en la figura 2, la energía para el compresor frío se debe equilibrar mediante el requisito de producción de refrigeración adicional en turboexpansor 38. Con respecto a la compresión fría, otras corrientes de procesos, por ejemplo las ricas en nitrógeno, se pueden usar para tareas de recalentamiento dentro de la columna de separación 60.

Con referencia a la figura 3, se ilustra una planta de separación de aire 3 que es una versión simplificada de la figura 1 que no incluye una corriente de fracción líquida 80 que se envía nuevamente a la columna de presión mayor. En cambio, de forma convencional, una corriente de fracción líquida 140 desde el termocambiador 26 se introduce en la columna de presión menor 48. Dado que la corriente de fracción líquida 80 no se devuelve a la columna de presión mayor 46, no hay incentivo para proporcionar toda la corriente de aire que contiene líquido 52 en dicha columna. En cambio, la corriente de aire que contiene líquido se divide en dos corrientes 52a y 52b que se proporcionan de forma convencional en la columna de presión mayor 46 y la columna de presión menor 48.

Con referencia a la figura 4, se usa una planta de separación de aire 4 en la que la columna de separación 60 se recalienta por remoción de una corriente de vapor 142 desde una ubicación intermedia de la columna de presión mayor 46 e introduciéndola en el recalentador 58. La ubicación se selecciona de modo que la corriente de vapor 142 tenga una composición que minimizará la diferencia de temperatura a través del recalentador 58. La corriente resultante 144 que está total o parcialmente condensada se vuelve a introducir en la columna de presión mayor 56 en el punto de alimentación. Esto aumenta el tráfico de vapor y líquido en la columna de presión mayor 46 debajo del punto en el cual la corriente de vapor 142 se remueve de la columna de presión mayor 46. Como resultado, la columna de presión mayor 4 es más eficaz y se mejoran las recuperaciones de productos de argón y oxígeno. Si se usa el empaque estructurado como el elemento de contacto de transferencia de masa, la corriente de vapor 142 se puede remover y la corriente 144 se devuelve a la misma ubicación en la columna de presión mayor para proporcionar la corriente de aire que contiene líquido 52. Para alimentar la corriente 144 nuevamente a la columna de presión mayor 46, debe tener suficiente punta que se pueda producir por una bomba o la ubicación física del recalentador 58. Otra posibilidad es bajar la presión de la corriente 144 y proporcionarla con la corriente de aire líquido artificial 98.

Aunque no se ilustra, es posible usar parte de la corriente de vapor rica en nitrógeno 106 con el fin de recalentar la columna de separación en vez de la corriente de vapor 142. La corriente resultante se podría combinar con la corriente de reflujo de nitrógeno 110. Mientras dicha modificación a la planta de separación de aire 4 resultaría en la mejora de recuperación de argón y oxígeno, puede no permitir el uso de un tipo de flujo bajo de termocambidores para recalentador de elevador 104.

Con referencia a la figura 5, se ilustra una planta de separación de aire 5 en la cual la zona de contacto de transferencia de masa para lavar la corriente de aire supercalentado entrante se coloca dentro de una columna auxiliar 146. El fin de esto es permitir realizar el método de la figura 1 como una actualización de una planta de separación de aire. En esta realización, la corriente de oxígeno líquido crudo 64 se divide en una primera parte 148 y una segunda parte 150. La primera parte 148 de la corriente de oxígeno líquido crudo se introduce en la unidad de subenfriamiento 168. La segunda parte 150 de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 y la corriente de fracción líquida 80 se introducen en la columna de lavado 146. Las bombas 152 y 153 se pueden proporcionar para producir suficiente punta líquida, si fuera necesario, para introducir las corrientes antes mencionadas en la columna de lavado 146. Una parte 154 de la corriente de aire supercalentado 42 se introduce en la columna de lavado 146 de modo que la fase ascendente se produzca en la columna de lavado 146. Como en la figura 1, una parte restante 56 de la corriente de aire supercalentado 42 se usa para recalentar la columna de separación. Sin embargo, a diferencia de la figura 1, una corriente que contiene nitrógeno y oxígeno 96 se combina con la corriente de fracción de vapor 79 del termocambiator 76 asociado con la columna de argón 50 para introducir en la columna de presión menor 48. La columna de lavado 146 se conecta con una región inferior de la columna de presión mayor de modo que la fase ascendente como una corriente 158 pase desde la columna de lavado 146 a la columna de presión mayor 46 y ascienda allí. Como en la figura 1, la corriente resultante 65 del líquido rico en kriptón y xenón se introduce en la columna de separación 60.

Con referencia a la figura 6, se muestra una planta de separación de aire 6 que usa un ciclo de oxígeno de baja pureza diseñado para producir oxígeno de baja pureza y nitrógeno a alta presión y a una alta velocidad. La planta de separación de aire 6 usa la columna de presión mayor 46 que puede operar a una presión de 1380 kPa (13,8 bar; 200 psia), una columna de presión media 47 que puede operar a una presión de 930 kPa (9,3 bar; 135 psia) y columna de presión menor 48' que puede operar a una presión de 450 kPa (4,5 bar; 65 psia).

Las ventajas de dicho ciclo se pueden entender mejor en el contexto de un sistema de columna doble operado para estos fines. En dicho ciclo de columna doble, habrá exceso de capacidad de separación en la base de la columna de presión menor 48 pero se sujeta en la parte superior de la columna de presión menor. Esto se remedia en la planta de separación de aire 6 reduciendo la fuerza de accionamiento de transferencia de masa en la base de la columna de presión menor 48 y aumentando la fuerza de accionamiento de transferencia de masa en la parte superior de la columna de presión menor 48. Esto se realiza usando una columna de presión media 47 para extraer nitrógeno adicional como reflujo de nitrógeno líquido para la columna de presión menor 48'. Además, la columna de presión menor 48' se recalienta en un nivel intermedio. Habrá recalentamiento reducido entre el recalentador de condensador más bajo dentro de la columna de presión menor 48', a saber, recalentador de condensador 104, para reducir así la fuerza de accionamiento de transferencia de masa en dicha sección de columna de presión menor 48' donde no es necesaria producción de oxígeno de baja pureza. El reflujo de nitrógeno aumentado de la columna de presión media 47 aumenta la fuerza de accionamiento de transferencia de masa en la sección superior de columna de presión menor 48' y entonces elimina la poca composición. Esto permite retirar producto de nitrógeno de mayor presión de la columna de presión mayor 46 de una manera a ser descrita. Como los expertos en la técnica pueden apreciar, las capacidades de planta de separación de aire 6 están adecuadas a aplicaciones que implican ciclos combinados de gasificación integrada donde el oxígeno de baja pureza es necesario por el gasificador y alimento de nitrógeno a la turbina de gas que genera energía.

En este ciclo particular, la primera corriente de aire proporcionada 20 y la segunda corriente de aire proporcionada 22 se enfrían en un termocambiator principal 160. No hay una tercera corriente de aire proporcionada en cuanto una parte fundamental de los requisitos de refrigeración de dicha planta se proporciona expandiendo una parte de una corriente de producto de nitrógeno 118. Después de calentar parcialmente la corriente de producto de nitrógeno 118,

la corriente de producto de nitrógeno se divide en una primera corriente de producto de nitrógeno 118' y una corriente de nitrógeno de temperatura intermedia 162. La corriente de nitrógeno de temperatura intermedia 162 se expande en un turboexpansor 164 para producir una corriente de escape que se calienta totalmente dentro del termocambiador principal 160 para producir una segunda corriente de producto de nitrógeno 118'' con una presión menor que la primera corriente de producto de nitrógeno 118'.

La refrigeración se suministra también por el expansor de líquido 33. Al respecto, la corriente de aire que contiene líquido 52 que emana del expansor de líquido se divide en la primera, segunda y tercera corriente de aire que contiene líquido complementarias 166, 168 y 170 que se introducen en la columna de presión mayor 46, la columna de presión media 47 y la columna de presión menor 48', respectivamente. Las válvulas de expansión 174 y 176 reducen la presión de la segunda y tercera corriente de aire que contiene líquido complementaria 168 y 170 a presiones adecuadas para su introducción en la columna de presión media 47 y la columna de presión menor 48'.

La corriente de oxígeno líquido crudo 64 pasa a través de la unidad de subenfriamiento 68, se expande por válvula por la válvula 70 a la presión de la columna de presión media 47 y se introduce en la columna de presión media 47. Una parte 176 de una corriente de vapor que contiene nitrógeno 174 que se saca de la columna de presión mayor 46 se introduce en un recalentador 178 ubicado en la base de la columna de presión media 47 y una parte restante 180 de la corriente de vapor que contiene nitrógeno 174 que se pasa al recalentador 58 ubicado en la columna de separación 60 donde se condensa al menos parcialmente, para recalentar así dichas columnas. Las corrientes resultantes 182 y 184 se combinan en una corriente combinada 186 que se introduce en la columna de presión mayor 46 para proporcionar reflujo adicional para dicha columna. Se observará que una bomba puede ser necesaria para permitir que la corriente 182 se combine con corriente condensada 184. Una corriente que contiene nitrógeno 188 se saca de la parte superior de la columna de presión media 47 y se condensa en un recalentador intermedio 190. Como se ilustra, el recalentador intermedio 190 se puede ubicar dentro de la columna de presión menor 48' o se puede colocar afuera de dicha columna con corrientes que pasan desde la columna de presión menor 48' a dicho recalentador intermedio externo. La corriente de nitrógeno líquido resultante 191 se divide en la primera y segunda corriente de nitrógeno líquido complementarias 192 y 194. La primera corriente de nitrógeno líquido complementaria 192 se usa para someter a reflujo la columna de presión media y la segunda corriente de nitrógeno líquido complementaria 194 se combina con toda la segunda corriente de reflujo de nitrógeno líquido 110 después de haber subenfriado dichas corrientes y se expanden por válvula en válvulas de expansión 196 y 197, respectivamente, para someter a reflujo la columna de presión menor 48'. Como se describe anteriormente, el recalentador intermedio 190 se coloca para reducir el recalentamiento debajo de su nivel y el reflujo de nitrógeno aumentado derivado de la segunda corriente de nitrógeno líquido complementaria 194 y toda la segunda corriente de reflujo de nitrógeno líquido 110 aumenta la fuerza de accionamiento de transferencia de masa en la sección superior de la columna de presión menor 48' para eliminar la poca composición. La corriente que contiene oxígeno resultante 198 producida a partir de la separación de nitrógeno de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 dentro de la columna de presión media 47 se expande por válvula en la válvula 199 y se introduce en la columna de presión menor 48' para proporcionar oxígeno derivado de la corriente de oxígeno líquido crudo 64 y para mejora adicional.

Una corriente que contiene nitrógeno y oxígeno 200, producida como columnas superior de vapor de la columna de separación 60 se introduce en la columna de presión menor 48'. La corriente de vapor rica en nitrógeno 106 se divide en una primera corriente de vapor rica en nitrógeno 201 y una segunda corriente de vapor rica en nitrógeno 202. La primera corriente de vapor rico en nitrógeno 201 se introduce en el recalentador de condensador 104 mientras la segunda corriente de vapor rico en nitrógeno 202 se calienta totalmente dentro del termocambiador principal 160 para producir una corriente de producto de nitrógeno de alta presión 204 que se puede sacar a una velocidad alta con el fin de suministrar una turbina de gas con nitrógeno.

Como en la realización ilustrada en la figura 1, en la parte inferior de la columna de presión mayor 46, una sección de columna adicional se proporciona debajo del punto en el cual la corriente de oxígeno líquido crudo 64 se saca para definir una zona de contacto de transferencia de masa que se puede diseñar de la misma forma que la de la planta de separación de aire 1. La fase líquida descendente dentro de la columna de presión mayor 46 en dicha sección lava kriptón y xenón de la fase de vapor ascendente que se inicia dentro de la columna de presión mayor 46 por introducción de toda la corriente de aire supercalentado 42, supercalentada en la misma medida que en la figura 1, en la masa de la zona de contacto de transferencia de masa. Nuevamente, preferentemente, esta zona de contacto de transferencia de masa se opera con una relación líquido a vapor de entre 0,04 y 0,15. Dado que la parte inferior de la columna de presión mayor 46 forma la zona de contacto de transferencia de masa, la fase de vapor, después de entrar en contacto con la fase líquida descendente, continúa ascendiendo dentro de la columna de presión mayor. En esta realización, la mayor parte del oxígeno líquido crudo se saca en el número de corriente 64. Sin embargo, existe suficiente líquido para obtener la relación líquido a vapor descrita anteriormente. Nuevamente, una corriente 65 del líquido rico en kriptón y xenón se reduce en presión por una válvula de expansión 66 y se introduce en la parte superior de la columna de separación 60 para ser separada por vapor en ebullición producido por el recalentador 58 como un gas de separación. Como se indica anteriormente, una parte restante 180 de la corriente de vapor que contiene nitrógeno 174 se pasa al recalentador 58 para dicho fin. Esto produce fondos líquidos ricos en kriptón-xenón dentro de la columna de separación 60 con una mayor concentración de kriptón y xenón que el líquido rico en kriptón y xenón producido en la zona de contacto de transferencia de masa en el fondo de la columna de presión mayor 46. Una corriente rica en kriptón-xenón 67 que está compuesta por los fondos líquidos ricos en kriptón-xenón se puede sacar y producir adicionalmente para producir productos de kriptón y xenón.

## ES 2 609 301 T3

La Tabla a continuación es un ejemplo calculado que ilustra resúmenes de corriente que se pueden esperar en la planta de separación de aire 1 que se muestra en la figura 1.

TABLA

Número de corriente en la figura 1	Flujo, mol/hr	Presión* kPa (psia*)	Temp., K	% vapor	Composición molar				
					N2 frac	Ar frac	O2 frac	Kr ppm	Xe ppm
14 <sup>1</sup>	1000	552,96 (80,2)	284,8	100	0,7811	0,0093	0,2095	1,14	0,087
42	582,0	528,14 (76,6)	107,3	100	0,7811	0,0093	0,2095	1,14	0,087
54	553,0	528,14 (76,6)	107,3	100	0,7811	0,0093	0,2095	1,14	0,087
56	29,0	528,14 (76,6)	107,3	100	0,7811	0,0093	0,2095	1,14	0,087
52	295,6	523,31 (75,9)	97,0	0,010	0,7811	0,0093	0,2095	1,14	0,087
98	177,3	522,62 (75,8)	96,8	0	0,7930	0,0123	0,1948	0,098	0,0000
40	122,4	132,38 (19,2)	88,7	100	0,7811	0,0093	0,2095	1,14	0,087
64	373,6	524,70 (76,1)	99,4	0	0,5771	0,0150	0,4079	1,56	0,067
69 <sup>2</sup>	53,7	135,83 (19,7)	83,9	0,078	0,5771	0,0150	0,4079	1,56	0,067
72	319,9	524,70 (76,1)	91,4	0	0,5771	0,0150	0,4079	1,56	0,067
116	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
88	0,1	117,211 (17,0)	88,7	100	0,0029	0,9971	0,0000	0	0
91	7,5	117,90 (17,1)	88,8	0	0,000001	1,0000	0,000001	0	0
80	32,0	128,93 (18,7)	87,2	0	0,2912	0,0175	0,6913	11,5	0,67
79	287,9	135,83 (19,7)	87,2	100	0,6089	0,0148	0,3764	0,46	0,001
122	208,8	145,48 (21,1)	93,8	0	0,0000	0,0040	0,9960	2,36	0,082
128	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
120 <sup>3</sup>	297,1	129,62 (18,8)	79,6	100	0,9936	0,0031	0,0033	0	0
118 <sup>4</sup>	485,9	128,24 (18,6)	79,4	100	0,9999	0,0001	0,000001	0	0
62	29,0	528,14 (76,6)	96,8	0	0,7811	0,0093	0,2095	1,14	0,087
65 <sup>5</sup>	31,0	135,83 (19,7)	84,3	0,158	0,5675	0,0138	0,4186	22,0	2,26
67	0,6	137,90 (20,0)	93,0	0	0,0074	0,0059	0,9835	1110	120

## ES 2 609 301 T3

Número de corriente en la figura 1	Flujo, mol/hr	Presión* kPa (psia*)	Temp., K	% vapor	Composición molar				
					N2 frac	Ar frac	O2 frac	Kr ppm	Xe ppm
96	30,4	135,83 (19,7)	87,6	100	0,5782	0,0140	0,4078	1,50	0,004

Nota:

- 1: La condición de la corriente 14 se proporciona en la tabla después del pasaje por el prepurificador 18
- 2: La condición de la corriente 69 se proporciona en la tabla después del pasaje a través de la válvula 70
- 3: La condición de la corriente 120 se proporciona en la tabla antes del pasaje a través de la unidad de subenfriamiento 68
- 4: La condición de la corriente 118 se proporciona en la tabla antes de entrar a la unidad de subenfriamiento 68
- 5: La condición de la corriente 65 se proporciona en la tabla después del pasaje a través de la válvula 66

\* 1 psia =0,69 bar

Mientras la presente invención se describe con referencia a realizaciones preferidas, como entenderán los expertos en la técnica, se pueden realizar varios cambios, adiciones y omisiones en dichas realizaciones sin apartarse del espíritu y alcance de la presente invención como se establece en la reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para separar aire que comprende:

comprimir, purificar y enfriar el aire;

5 el aire se enfría de modo que se forme una corriente de aire supercalentado desde parte del aire que tiene una temperatura de al menos 5 K por encima de una temperatura de punto de rocío del aire a una presión de la corriente de aire supercalentado;

10 introducir el aire en una unidad de separación de aire que comprende una columna de presión mayor y una columna de presión menor, separar el aire en fracciones de componentes enriquecidas con al menos oxígeno y nitrógeno dentro de la unidad de separación de aire y usar corrientes de las fracciones de componentes para ayudar a enfriar el aire;

15 lavar kriptón y xenón de al menos parte de la corriente de aire supercalentado dentro de una zona de contacto de transferencia de masa ubicada en una parte inferior de la columna de presión mayor o en una columna auxiliar conectada con la parte inferior de la columna de presión mayor de modo que se produzcan los fondos líquidos ricos en kriptón y xenón, la zona de contacto de transferencia de masa se opera con una relación líquido a vapor entre 0,04 y 0,15;

separar una corriente del líquido rica en kriptón y xenón dentro de una columna de separación con un gas de separación, produciendo así fondos líquidos ricos en kriptón-xenón con una mayor concentración de kriptón y xenón que el líquido rico en kriptón y xenón producido en la zona de contacto de transferencia de masa; y

20 sacar una corriente rica en kriptón-xenón compuesta por los fondos líquidos ricos en kriptón-xenón de la columna de separación.

2. El método de la reivindicación 1, en donde la zona de contacto de transferencia de masa se ubica en la región inferior de la columna de presión mayor, directamente debajo de un punto en cual se remueve una corriente de oxígeno líquido crudo de allí para mejora adicional dentro de la unidad de separación de aire.

3. El método de la reivindicación 2, en donde:

25 la unidad de separación de aire tiene una columna de argón asociada operativamente a la columna de presión menor para rectificar una corriente que contiene argón y así producir una columna rica en argón superior y una corriente rica en argón formada a partir de la columna rica en argón superior;

30 al menos parte de la corriente de oxígeno líquido crudo se reduce en presión y se introduce en intercambio térmico indirecto con una corriente de vapor rica en argón, para producir así una corriente líquida rica en argón que se introduce, al menos en parte, en la columna de argón como reflujo y para vaporizar parcialmente la al menos una parte de la corriente de oxígeno líquido crudo y para formar una corriente de fracción de vapor y una corriente de fracción líquida a partir de la evaporación parcial; y

la corriente de fracción de vapor se introduce en la columna de presión menor y la corriente de fracción líquida se introduce en una de la columna de presión menor y la columna de presión mayor.

35 4. El método de la reivindicación 3, en donde:

el aire se enfría a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiator principal;

una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor;

40 la corriente líquida rica en oxígeno se bombea y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiator principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado;

el aire después de haberse comprimido y purificado se divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria;

45 al menos parte de la primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiator principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y por lo tanto se reduce en presión para producir una corriente de aire que contiene líquido;

la corriente de aire que contiene líquido se introduce en su totalidad en la columna de presión mayor;

la segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiador principal para producir la corriente de aire supercalentado;

5 una corriente de aire líquida artificial se remueve de la columna de presión mayor, por encima de un punto en el cual la corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión mayor, y se introduce en la columna de presión menor; y

la corriente de fracción líquida se introduce en una columna de presión mayor a un nivel en el cual la corriente de oxígeno líquido crudo se saca sin mezclar la corriente de oxígeno líquido crudo para aumentar la recuperación de kriptón y xenón.

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

10 parte de la corriente de aire supercalentado se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa y una parte restante de la corriente de aire supercalentado se introduce en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación y para formar así el gas de separación;

15 la parte restante de la corriente de aire supercalentado después de haber pasado por el recalentador y al menos parcialmente condensada se combina con la corriente de aire líquida artificial para introducir en la columna de presión menor; y

un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que tiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la columna de presión menor.

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

la corriente de aire supercalentado, en su totalidad, se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa;

20 un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que tiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa junto con la corriente de aire supercalentado;

25 una primera parte de la primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente dentro de un compresor de caldera de producto y una segunda parte de la primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente y se enfría totalmente dentro del termocambiador principal;

la segunda parte de la primera corriente de aire complementaria se introduce en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación; y

la segunda parte de la primera corriente de aire complementaria después de haber pasado por el recalentador y al menos parcialmente condensada se reduce en presión y se introduce en la columna de presión mayor.

30 7. El método de la reivindicación 3, en donde:

el aire se enfría a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiador principal;

una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor;

35 la corriente líquida rica en oxígeno se bombea y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiador principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado;

el aire después de haberse comprimido y purificado se divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria;

40 la primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiador principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y se reduce en presión para formar una corriente de aire que contiene líquido;

45 la corriente de aire que contiene líquido se divide en una primera corriente de aire que contiene líquido complementaria y una segunda corriente de aire que contiene líquido complementaria, la primera corriente de aire que contiene líquido complementaria se introduce en la columna de presión mayor y la segunda corriente de aire que contiene líquido complementaria además se reduce en presión y se introduce en la columna de presión menor;

la segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiador principal para producir la corriente de aire supercalentado;

la corriente de fracción líquida se introduce en la columna de presión menor;

parte de la corriente de aire supercalentado se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa y una parte restante de la corriente de aire supercalentado se introduce en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación y para formar así el gas de separación;

5 la parte restante de la corriente de aire supercalentado después de haber pasado a través del recalentador se introduce junto con la segunda corriente de aire que contiene líquido complementaria en la columna de presión menor;

y un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la columna de presión menor.

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

10 la corriente de aire supercalentado, en su totalidad, se introduce en la zona de contacto de transferencia de masa;

una corriente de vapor que contiene nitrógeno y oxígeno se remueve de la columna de presión mayor encima del punto de introducción de la corriente de aire que contiene líquido y se introduce en un recalentador ubicado en el fondo de la columna de separación para recalentar la columna de separación; y

15 la corriente de aire que contiene nitrógeno y oxígeno después de haber pasado a través del recalentador se introduce en la columna de presión mayor.

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

el aire se enfría a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiator principal;

20 una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor;

la corriente líquida rica en oxígeno se bombea y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiator principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado;

25 el aire después de haberse comprimido y purificado se divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria;

la primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiator principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y se reduce en presión para formar una corriente de aire que contiene líquido;

la corriente de aire que contiene líquido se introduce en su totalidad en la columna de presión mayor;

30 la segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiator principal para producir la corriente de aire supercalentado;

una corriente de aire líquida artificial se remueve de la columna de presión mayor, por encima de un punto en el cual la corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión mayor, y se introduce en la columna de presión menor;

35 la corriente de oxígeno líquido crudo se divide al menos en una primera corriente de oxígeno líquido crudo complementaria y una segunda corriente de oxígeno líquido crudo complementaria, la primera corriente de oxígeno líquido crudo complementaria constituye la al menos una parte de la corriente de oxígeno líquido crudo que se introduce en termocambiator indirecto con una corriente de vapor rica en argón;

40 la zona de contacto de transferencia de masa se ubica en la columna auxiliar conectada con la parte inferior de la columna de presión mayor;

la segunda corriente de oxígeno líquido crudo complementaria se introduce en la columna auxiliar junto con la corriente de fracción líquida en una dirección contracorriente a la parte de la corriente de aire supercalentado para lavar el kriptón y xenón desde allí y una corriente de aire superior vuelve desde la columna auxiliar a la columna de presión mayor;

45 la columna auxiliar está conectada con la columna de separación de modo que la corriente del líquido rico en kriptón y xenón se introduce en la columna de separación; y

la columna de separación está en comunicación fluida con la columna de presión menor de modo que una corriente de un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno producida en la columna de separación se introduce en la columna de presión menor junto con la corriente de fracción de vapor.



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

el aire se enfría a través de intercambio térmico indirecto con corrientes de las fracciones de componentes dentro de un termocambiator principal;

5 una de las corrientes de las fracciones de componentes es una corriente líquida rica en oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida rica en oxígeno de la columna de presión menor;

la corriente líquida rica en oxígeno se bombea y al menos parte de la corriente líquida rica en oxígeno después de haberse bombeado se vaporiza o vaporiza artificialmente dentro del termocambiator principal para producir una corriente de producto de oxígeno presurizado;

10 el aire después de haberse comprimido y purificado se divide en una primera corriente de aire complementaria y una segunda corriente de aire complementaria;

la primera corriente de aire complementaria se comprime adicionalmente, se enfría completamente dentro del termocambiator principal a través de vaporización o vaporización artificial de la al menos una parte de la corriente líquida rica en oxígeno y se reduce en presión para formar una corriente de aire que contiene líquido;

15 la segunda corriente de aire complementaria se enfría parcialmente dentro del termocambiator principal para producir la corriente de aire supercalentado;

la corriente de aire que contiene líquido se divide en una primera corriente de aire que contiene líquido y una segunda corriente de aire que contiene líquido;

la primera corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión mayor y la segunda corriente de aire que contiene líquido se introduce en la columna de presión menor;

20 la corriente de oxígeno líquido crudo se introduce en una columna de presión media de la unidad de separación de aire para producir una columna superior que contiene nitrógeno y fondos de columna que contiene oxígeno;

una corriente de fondos de columna líquida que contiene oxígeno compuesta por los fondos de columna líquida que contiene oxígeno se introduce en la columna de presión menor;

25 la columna de presión media se recalienta con parte de una corriente que contiene nitrógeno removida de la columna de presión mayor y se somete a reflujo condensando una corriente superior que contiene nitrógeno de la columna superior que contiene nitrógeno en un recalentador intermedio;

la columna de separación se recalienta con una parte restante de la corriente que contiene nitrógeno;

la parte de la corriente que contiene nitrógeno y la parte restante de la corriente que contiene nitrógeno se usan para proporcionar reflujo adicional a la columna de presión mayor; y

30 un vapor superior que contiene nitrógeno y oxígeno se produce en la columna de separación y una corriente del vapor superior que tiene nitrógeno y oxígeno se introduce en la columna de presión menor.

11. El método de la reivindicación 10, en donde la zona de contacto de transferencia de masa se ubica en una región inferior de la columna de presión mayor, directamente debajo de un punto en cual se remueve la corriente de oxígeno líquido crudo de allí.

35 12. El método de la reivindicación 11, en donde:

una corriente de vapor rica en nitrógeno se saca de la parte superior de la columna de presión menor y constituye una corriente adicional de las fracciones de componentes;

la corriente de vapor rica en nitrógeno se introduce en el termocambiator principal;

40 una primera parte de la corriente de vapor rica en nitrógeno se calienta totalmente dentro del termocambiator principal;

una parte restante de la corriente de vapor rica en nitrógeno se calienta parcialmente y se saca del termocambiator principal;

la parte restante después de haberse sacado del termocambiator principal se introduce en un turboexpansor para producir una corriente de escape; y

45 la corriente de escape se vuelve a introducir en el termocambiator principal y calentar totalmente para generar refrigeración.

13. El método de la reivindicación 4, en donde la al menos una parte de la primera corriente de aire complementaria se reduce en presión dentro de un expansor de líquido.

14. El método de la reivindicación 7 o reivindicación 9 o reivindicación 10, en donde la primera corriente de aire complementaria se reduce en presión dentro de un expansor de líquido.

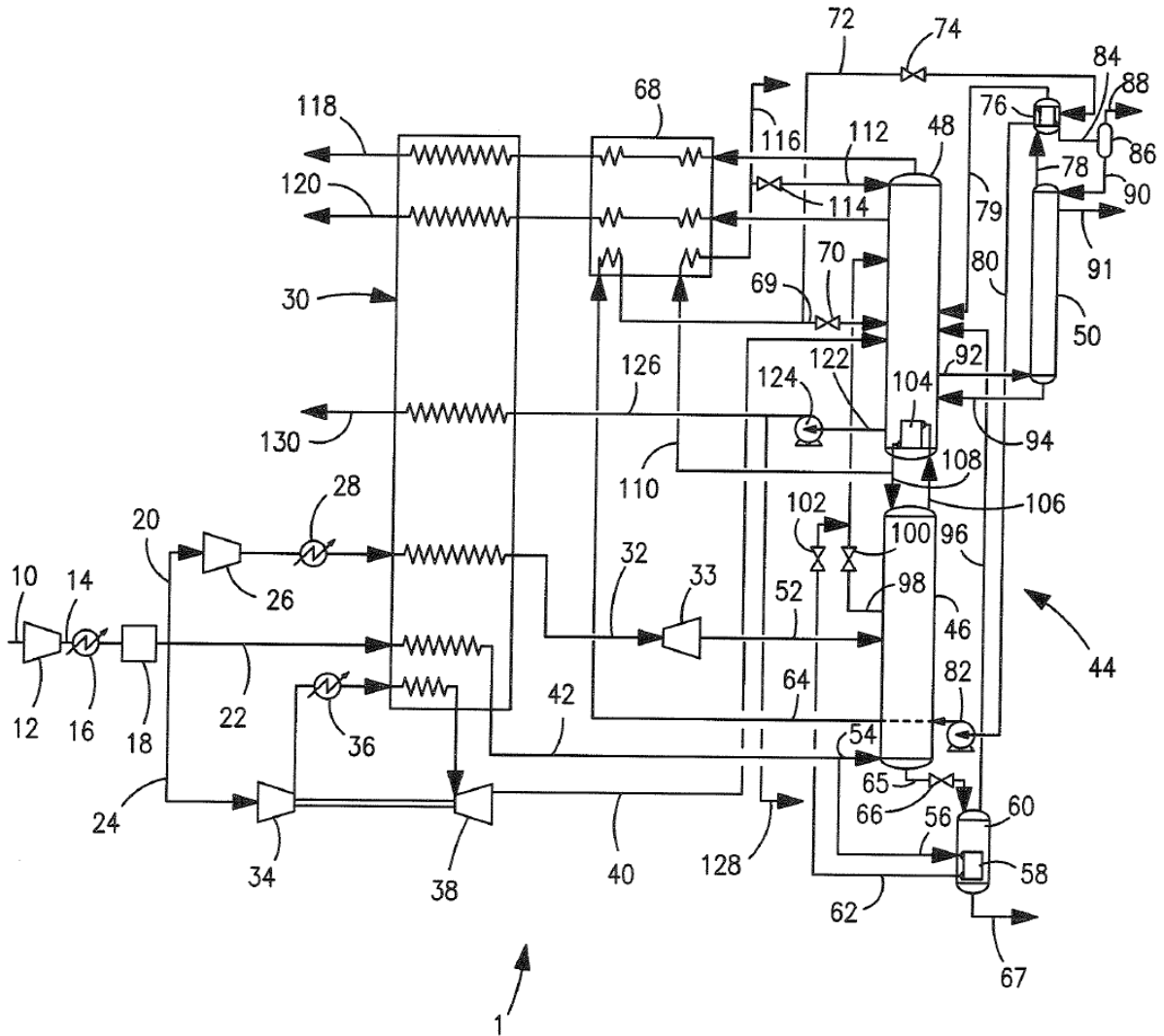


FIG. 1

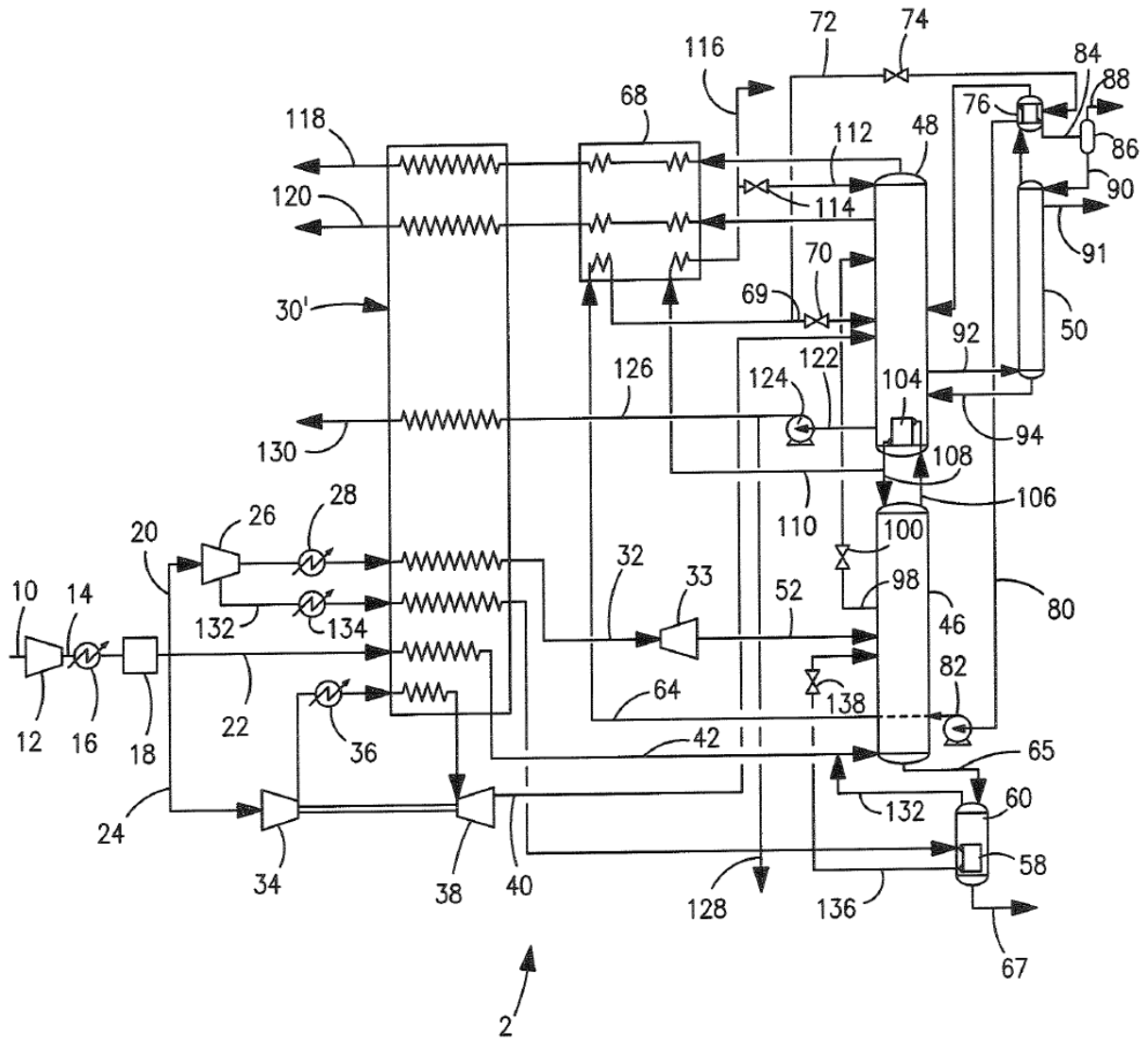


FIG. 2

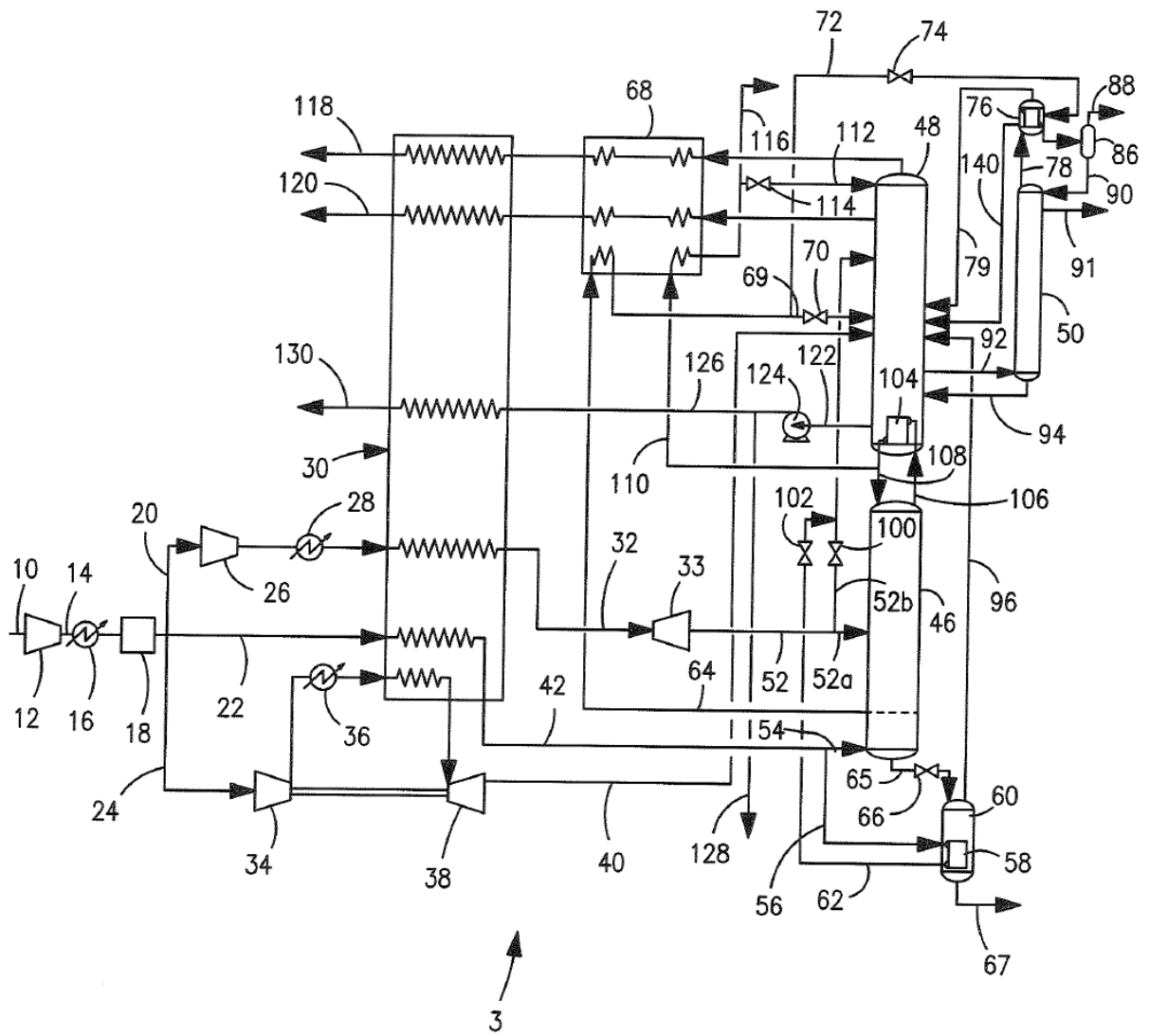


FIG. 3

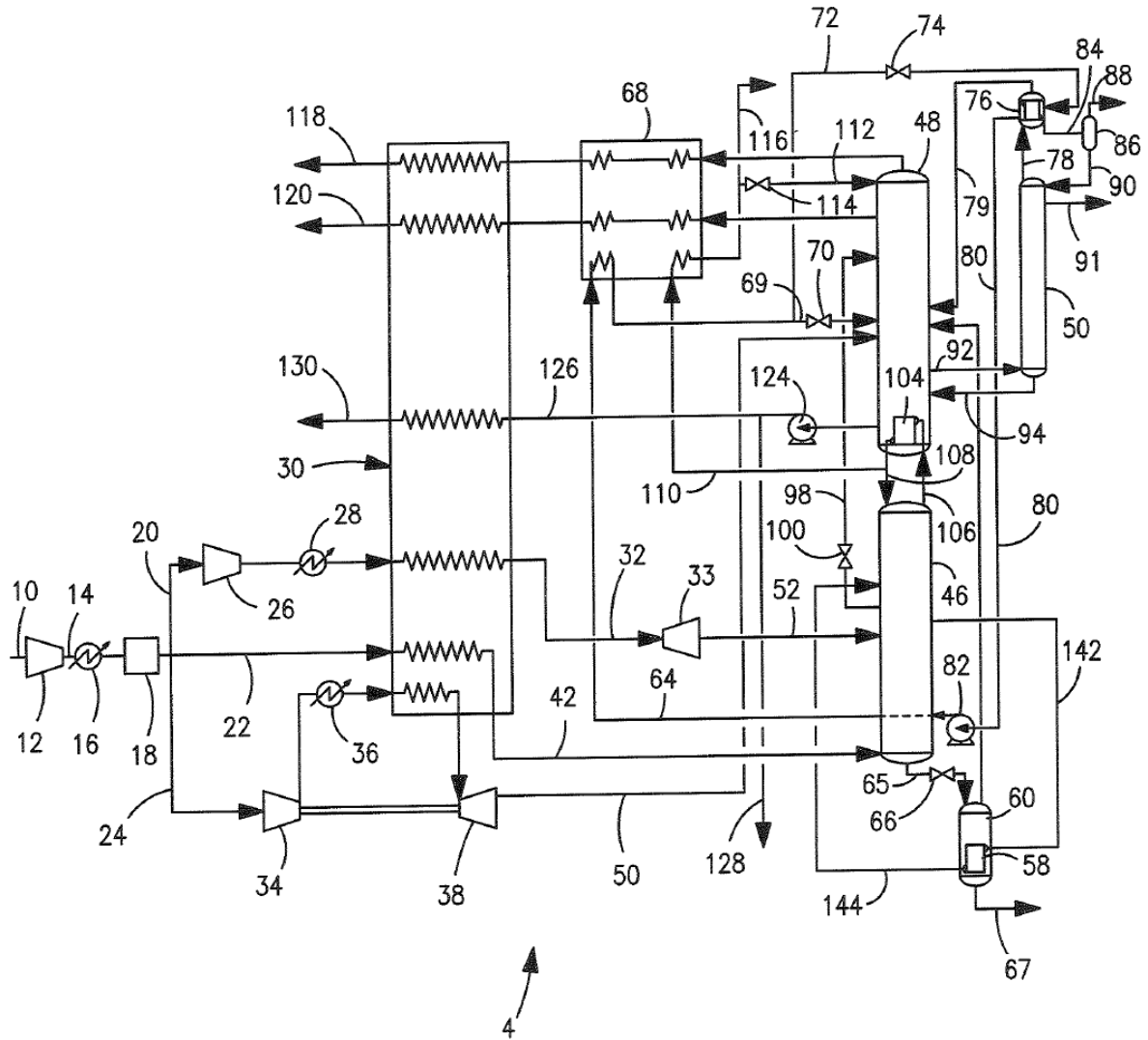


FIG. 4

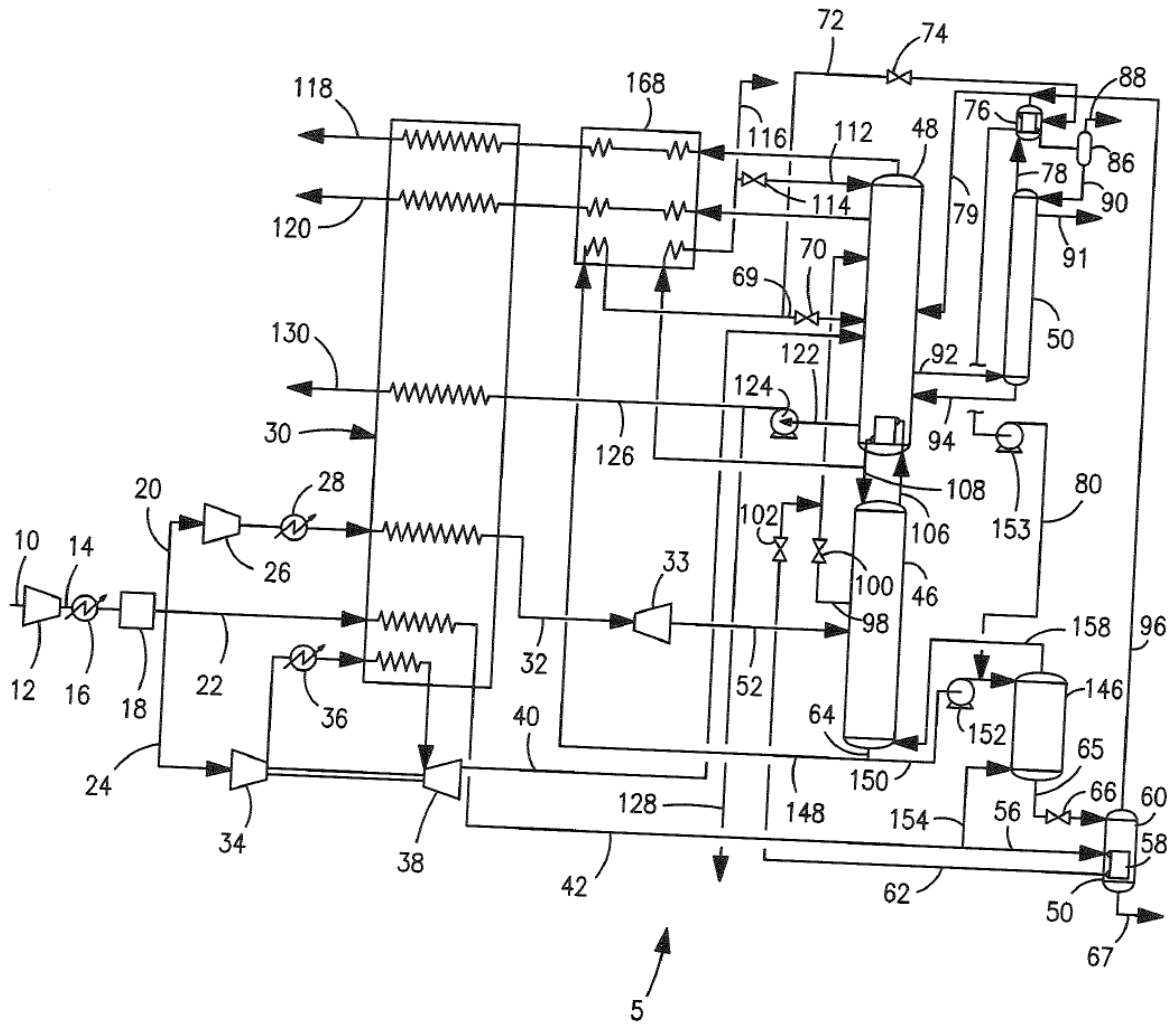


FIG. 5

