

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 981**

51 Int. Cl.:

**F25J 3/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2013 PCT/US2013/070737**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.07.2014 WO14105293**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2013 E 13808296 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 2941608**

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

30 Prioridad:

**26.12.2012 US 201213726679**

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

**27.02.2020**

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)  
10 Riverview Drive  
Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**RAUCH, JEREMIAH, J.;  
SARIGIANNIS, CATHERINE, B.;  
WARTA, ANDREW, M. y  
DOWD, SOPHIA, J.**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 744 981 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Método y aparato de separación de aire

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un método y a un aparato de separación de aire en el que se imparte refrigeración a una planta de separación de aire formando una corriente de aire refrigerante comprimido de aire purificado y comprimido, expandiendo la corriente de aire refrigerante comprimido en un turboexpansor para producir una corriente de escape, e introduciendo la corriente de escape en un sistema de columnas de destilación que produce uno o más productos líquidos. Más particularmente, la presente invención se refiere a un método y a un aparato en el que la corriente de aire refrigerante comprimido se recomprime mediante un compresor aumentador de presión antes de la expansión para aumentar la refrigeración y la producción de los productos líquidos, o elude el compresor aumentador de presión para disminuir la refrigeración y la producción de los productos líquidos.

15 **Antecedentes de la invención**

El aire se separa en plantas de separación de aire que emplean rectificación criogénica para separar el aire en productos que incluyen nitrógeno, oxígeno y argón. En dichas plantas, el aire se comprime, se purifica de contaminantes con un mayor punto de ebullición, tales como dióxido de carbono y agua, se enfría a una temperatura adecuada para la destilación del aire y después se introduce en un sistema de columnas de destilación.

En un sistema típico de columnas de destilación, el aire se separa, en una columna de alta presión, en una cabeza de la columna de vapor rico en nitrógeno y los fondos de la columna de oxígeno líquido crudo, también conocido como líquido de caldera. Se introduce una corriente de fondos de la columna de oxígeno líquido crudo en una columna de baja presión para refinarla aún más en unos fondos de la columna de líquidos ricos en oxígeno y una cabeza de la columna de vapor rico en nitrógeno. La columna de baja presión funciona a una presión más baja que la columna de alta presión y se une térmicamente a la columna de alta presión mediante un intercambiador de calor conocido como calderín condensador. El calderín condensador condensa una corriente de la cabeza de la columna de vapor rico en nitrógeno a través de un intercambio de calor indirecto con los fondos de la columna líquidos ricos en oxígeno para producir un reflujo de nitrógeno líquido para ambas columnas de alta y baja presión y para crear borboteo en la columna de baja presión mediante vaporización de parte de los fondos de la columna líquidos ricos en oxígeno producidos en dicha columna.

En cualquier tipo de planta de separación de aire, el líquido y el vapor, que pueden estar compuestos por líquido y vapor ricos en nitrógeno y ricos en oxígeno, se introducen en un intercambiador de calor principal y se pasan, en intercambio de calor indirecto, con el aire de entrada para ayudar a enfriar el aire y tomarlos como productos del extremo caliente del intercambiador de calor principal. Además, los productos líquidos enriquecidos con oxígeno, nitrógeno o ambos pueden extraerse del sistema de columnas de destilación como productos líquidos. Además, toda o una parte de las corrientes de líquido extraídas de las columnas puede bombearse para producir un líquido bombeado o presurizado que se calienta en el intercambiador de calor principal o un intercambiador de calor separado diseñado para funcionar a alta presión y producir productos enriquecidos ya sea como vapor o como fluido supercrítico.

Dado que una planta de separación de aire debe mantenerse a temperaturas criogénicas para permitir que el aire se destile, se debe impartir refrigeración a la planta con el fin de compensar las pérdidas de calor en la planta y las pérdidas del extremo caliente del intercambiador de calor principal u otro intercambiador de calor que funcione asociado a este. Además, la extracción de productos líquidos también eliminará la refrigeración impartida que también debe compensarse a través de la introducción de refrigeración en la planta. Esto se suele hacer formando una corriente de aire refrigerante comprimido, introduciendo el aire comprimido y purificado en un compresor aumentador de presión. La corriente de aire refrigerante comprimido después de dicha compresión adicional se introduce, ya sea directamente o después de enfriar parcialmente dicha corriente, en un turboexpansor para producir una corriente de escape que se introduce en el sistema de columnas de destilación. En este sentido, dicha corriente de escape se puede introducir en la columna de baja presión o la columna de alta presión.

En gran parte, el gasto corriente en el funcionamiento de una planta de separación de aire es el coste de la electricidad que se consume en comprimir el aire. Como se mencionó anteriormente, cuando el líquido debe extraerse como un producto, se necesitará más compresión para generar la refrigeración que se requerirá cuando dichos productos se produzcan. Sin embargo, la demanda de productos líquidos y el coste de la electricidad no son constantes. Por ejemplo, el coste de la electricidad y la demanda de líquido a menudo serán menores durante las horas nocturnas en comparación con los costes eléctricos y las demandas de líquido en horas diurnas. En consecuencia, las plantas de separación de aire pueden diseñarse para producir cíclicamente una mayor parte de productos líquidos cuando la electricidad sea menos cara, almacenar dichos productos líquidos y luego reducir la producción de líquido durante las horas diurnas.

Las plantas de separación de aire diseñadas para poder producir productos líquidos a ritmos altos y bajos de producción de líquido son muy conocidas en la técnica. En términos generales, dichas plantas emplean una línea de desvío que elude el compresor aumentador de presión. Cuando se desea producir productos líquidos a un menor ritmo, unas válvulas dirigen el flujo, que de lo contrario se introduciría en el compresor aumentador de presión, a la

línea de desvío. La omisión del compresor aumentador de presión disminuirá la relación de presión a través del turboexpansor y, por lo tanto, la cantidad de refrigeración que puede impartirse a la planta de separación de aire.

5 Sin embargo, no todas dichas plantas pueden funcionar cíclicamente entre ritmos de producción altos y bajos. Por ejemplo, US-5.901.579 describe un sistema en el que se puede eludir un aumentador de presión de una turbina para, a su vez, reducir la relación de presión a través de una turbina. Sin embargo, la disposición mostrada en esa patente no es capaz de funcionar en un modo en el que la producción de líquido se pueda someter a un ciclo de operaciones de producciones altas y bajas de líquido. Dicho sistema puede ponerse bien en un modo de alta de producción en el que se utiliza un compresor aumentador de presión o bien un modo de baja producción donde el compresor aumentador de presión se elude y no se usa. En el circuito de flujo mostrado en esa patente, si el compresor aumentador de presión se eludiera sin apagar la planta, el compresor aumentador de presión sufriría una sobrecarga repentina. La sobrecarga, como se conoce bien en la técnica, es una condición de flujo oscilante perjudicial dentro del compresor que se produce al exceder la relación de presión a una velocidad del compresor específica. Además, no sería posible sacar el compresor aumentador de presión de la línea porque en el circuito de flujo mostrado en esa patente el aire comprimido cambiaría su dirección y desembocaría en la unidad de purificación previa.

15 Incluso en las plantas diseñadas para funcionar cíclicamente entre ritmos altos y bajos de producción de líquido, el intervalo de producción de líquido que puede obtenerse es muy limitado. La principal razón de esto tiene que ver con la sobrecarga. Para evitar la sobrecarga, la propia línea de desvío se utiliza para hacer recircular inicialmente el aire comprimido desde la salida del compresor hasta la entrada del compresor aumentador de presión cuando se lleva a la línea o se saca de la línea o en un modo de funcionamiento de baja presión. El problema de esto es que para ello se utiliza una válvula en la línea de desvío y, salvo que el compresor aumentador de presión solo tenga capacidades de compresión limitadas en comparación con un funcionamiento de la planta en el que se utilice el desvío, el flujo al turboexpansor podría interrumpirse haciendo que el turboexpansor se averíe. Además, los turboexpansores usados en dichas plantas suelen acoplarse directamente a un compresor en un piñón común en una disposición conocida como turbina cargada con el aumentador de presión. Cuando la presión se aumenta mediante el compresor aumentador de presión, la velocidad del turboexpansor y, por lo tanto, del compresor acoplado, aumentará para llevar al compresor hacia una sobrecarga. Como se puede apreciar, esto limita también las capacidades de compresión del compresor aumentador de presión y, por consiguiente, la variación de la relación de presión que se puede aplicar al turboexpansor. Como resultado, en dichas disposiciones, el grado en el que la planta de separación de aire puede bajar su volumen para disminuir la producción de líquido es muy limitada. Por consiguiente, también se limita el ahorro de energía de dicha planta durante los periodos en los que se desean bajas velocidades de producción de líquido.

20 En US-2009/241595 A1 se describe un método para separar aire en una planta de separación de aire, comprendiendo el método:

25 rectificar aire comprimido, purificado y enfriado en un sistema de columnas de destilación de la planta de separación de aire configurada para producir, al menos, un producto líquido e impartir refrigeración a la planta de separación de aire con el uso de un turboexpansor, impartándose la refrigeración al formar una corriente de aire refrigerante comprimido dentro de la planta de separación de aire,

30 expandir la corriente de aire refrigerante comprimido en un turboexpansor para producir una corriente de escape, e introducir la corriente de escape en el sistema de columnas de destilación de la planta de separación de aire;

35 variar la producción del al menos un producto líquido introduciendo selectivamente la corriente de aire refrigerante comprimido bien en un ramal del compresor aumentador de presión de un circuito de flujo ramificado que tiene un compresor aumentador de presión para recomprimir la corriente de aire refrigerante comprimido y obtener así una relación de alta presión a través del turboexpansor y un mayor ritmo de la producción o bien en un ramal de desvío del circuito de flujo ramificado que elude el compresor aumentador de presión y obtener así una relación de baja presión a través del turboexpansor y un menor ritmo de la producción;

40 donde la corriente de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal del compresor aumentador de presión desviando gradualmente la corriente de aire refrigerante comprimido del ramal de desvío al ramal del compresor aumentador de presión,

45 activar el compresor aumentador de presión y hacer circular una corriente de recirculación que fluye dentro de un ramal de recirculación del circuito de flujo ramificado desde una salida del compresor hasta una entrada del compresor hasta que la presión del ramal del compresor aumentador de presión en la salida del compresor aumentador de presión supere la presión de desvío dentro del ramal de desvío, tras lo cual se suspende el flujo de tanto la corriente de recirculación como la corriente de aire refrigerante comprimido dentro del ramal de desvío;

50 donde la corriente de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal de desvío desviando gradualmente la corriente de aire refrigerante comprimido del ramal del compresor aumentador de presión al ramal de desvío mientras se hace circular la corriente de recirculación en el ramal de recirculación hasta que la presión de desvío supere la presión del ramal del compresor aumentador de presión, tras lo cual el compresor aumentador de

presión se desactiva y el flujo tanto de la corriente de recirculación como de la corriente de aire refrigerante comprimido dentro del compresor aumentador de presión se suspende.

5 Como se explicará, la presente invención proporciona un método para separar aire y una planta de separación de aire que, entre otras ventajas, permiten que un aumentador de presión sea eludido para reducir la producción de líquido con mayores capacidades de reducción de líquido que las contempladas en el estado de la técnica.

**Sumario**

10 La presente invención proporciona un método para separar aire en una planta de separación de aire como se define en la reivindicación 1 y un aparato de separación de aire como se define en la reivindicación 11. En dicho método, se rectifica aire comprimido, purificado y enfriado en un sistema de columnas de destilación de la planta de separación de aire que está configurada para producir al menos un producto líquido. Se imparte refrigeración en la planta de separación de aire con el uso de un turboexpansor no directamente acoplado a un solo compresor de la planta de  
15 separación de aire en un piñón común. La refrigeración se imparte formando una corriente de aire refrigerante comprimido dentro de la planta de separación de aire, expandiendo la corriente de aire refrigerante comprimido en un turboexpansor para producir una corriente de escape, e introduciendo la corriente de escape en el sistema de columnas de destilación de la planta de separación de aire. La producción del al menos un producto líquido se varía introduciendo selectivamente la corriente de aire comprimido refrigerante bien en un ramal del compresor aumentador de presión de un circuito de flujo ramificado que tiene un compresor aumentador de presión para recomprimir la corriente de aire refrigerante comprimido y obtener así una relación de alta presión a través del turboexpansor y un mayor ritmo de producción o bien en un ramal de desvío del circuito de flujo ramificado que elude el compresor aumentador de presión y obtener así una relación de baja presión a través del turboexpansor y un menor ritmo de la producción.

25 La corriente de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal del compresor aumentador de presión desviando gradualmente la corriente de aire refrigerante comprimido del ramal de desvío al ramal del compresor aumentador de presión, activando el compresor aumentador de presión y haciendo circular una corriente de recirculación que fluye dentro de un ramal de recirculación del circuito de flujo ramificado desde una salida del compresor hasta una entrada del compresor hasta que la presión del ramal del compresor aumentador de presión en la salida del compresor aumentador de presión supere la presión de desvío dentro del ramal de desvío, tras lo cual se suspende el flujo de tanto la corriente de recirculación como la corriente de aire refrigerante comprimido dentro del ramal de desvío. La corriente de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal de desvío desviando gradualmente la corriente de aire refrigerante comprimido del ramal del compresor aumentador de presión al ramal de desvío mientras se hace circular la corriente de recirculación en el ramal de recirculación hasta que la presión de desvío supere la presión del ramal del compresor aumentador de presión, tras lo cual el compresor aumentador de presión se desactiva y el flujo tanto de la corriente de recirculación como de la corriente de aire refrigerante comprimido dentro del compresor aumentador de presión se suspende. Cabe señalar que, en la presente memoria y en las reivindicaciones, los términos “activado” y “desactivado” abarcan tanto un funcionamiento en el que el compresor aumentador de presión es encendido o apagado como modos de funcionamiento del compresor  
30 aumentador de presión tanto en un modo de baja presión, cuando el compresor aumentador de presión está desactivado, como en un modo de alta presión, cuando el compresor aumentador de presión está activado.

45 Dado que el turboexpansor no está directamente acoplado a un único compresor de la planta de separación de aire en un piñón común o, en otras palabras, no es una turbina cargada por el aumentador de presión, en la presente invención se elimina un problema de la técnica anterior que limitaría de otro modo la capacidad de bajar el volumen de la planta de separación de aire en la producción de productos líquidos. Aumentar la relación de presión a través del turboexpansor no aumentará la velocidad de un compresor para llevar al compresor a una sobrecarga. La presente invención, sin embargo, sí que engloba la disposición mostrada en US-5.901.579, en la que el trabajo de expansión es disipado en un engranaje principal que también acciona los compresores y que a su vez es accionado por un motor eléctrico. En dicha disposición, las velocidades del turboexpansor y de los compresores son constantes y no se modificarán al variar la relación de presión a través del turboexpansor. En su lugar, a una velocidad constante y a una relación de presión más alta a través del turboexpansor, se disipará más trabajo de expansión en el engranaje principal para reducir la energía consumida por el motor eléctrico que impulsa la disposición. Además, se elimina el otro problema de cambiar rápidamente el flujo al turboexpansor porque la corriente de aire refrigerante se desvía gradualmente del ramal del compresor aumentador de presión al ramal de desvío cuando se desean ritmos bajos de producción de líquido y también se desvía gradualmente del ramal de desvío al ramal del compresor aumentador de presión cuando se desean ritmos altos de producción de líquido. La recirculación independiente de la corriente de recirculación desde la salida hasta la entrada del compresor durante dichos cambios en el funcionamiento de la planta permite la desviación gradual al tiempo que evita que el compresor aumentador de presión sea llevado a una sobrecarga. Como consecuencia, se puede obtener una bajada de volumen mucho mayor en la presente invención en comparación con las técnicas del estado de la técnica y, por tanto, un mayor grado de ahorro de energía.

65 La corriente de aire refrigerante comprimido puede enfriarse parcialmente en un intercambiador de calor principal utilizado para enfriar el aire. En ese caso, el circuito de flujo ramificado se conecta a un extremo caliente del intercambiador de calor principal. En este sentido, el término “parcialmente enfriado” en la presente memoria y en las reivindicaciones significa enfriado a una temperatura entre los extremos caliente y frío del intercambiador de

calor principal. Además, el compresor aumentador de presión se desactiva y una corriente de aire de purga, compuesta de aire purificado, puede hacerse pasar a través del compresor aumentador de presión para evitar que el aire ambiente entre en el compresor aumentador de presión.

5 Se puede retirar una corriente de líquido del sistema de columnas de destilación y dividirla en una primera corriente secundaria de líquido y una segunda corriente secundaria de líquido. En ese caso, el al menos un producto líquido comprende la primera corriente secundaria de líquido y la segunda corriente secundaria de líquido se calienta dentro del intercambiador de calor principal para formar una corriente de producto caliente. Durante la disminución de la producción de al menos un producto líquido, el caudal del aire del aire suministrado a la planta de separación de aire se reduce para mantener el caudal del producto de la corriente de producto caliente constante. En una realización específica de la presente invención, el sistema de columnas de destilación puede comprender una columna de alta presión y una columna de baja presión que funciona a una presión menor que la columna de alta presión, configurada para refinar más los fondos de una columna de oxígeno líquido crudo producidos en la columna de alta presión y conectada a la columna de alta presión en una relación de transferencia de calor. Esta conexión de transferencia de calor entre las columnas de alta y baja presión se logra mediante la condensación de la cabeza de una columna de vapor rico en nitrógeno producido en la columna de alta presión mediante intercambio de calor indirecto con un líquido rico en oxígeno producido en la columna de baja presión, proporcionando de este modo el reflujo de nitrógeno líquido a la columna de alta presión y la columna de baja presión. En ese caso, la corriente de líquido es una corriente de líquido rico en oxígeno compuesta de fondos de una columna de líquido rico en oxígeno producidos en la columna de baja presión. La corriente de líquido rico en oxígeno se divide en la primera corriente secundaria de líquido y la segunda corriente secundaria de líquido. La segunda corriente secundaria de líquido puede bombearse para producir una corriente de producto líquido presurizado y calentarse dentro del intercambiador de calor principal para producir la corriente de producto caliente. Se forma una corriente de aire comprimido adicional dentro de la planta de separación de aire que es licuado en el intercambiador de calor principal con la corriente de producto líquido presurizado, para producir de este modo una corriente de aire líquido y se reduce la presión de, al menos, parte de la corriente de aire líquido y se introduce en, al menos, la columna de baja presión.

En dicha realización específica, la corriente de escape puede introducirse en la columna de alta presión. De forma alternativa, una corriente de aire principal formada por parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se enfría dentro del intercambiador de calor principal y se introduce en la columna de alta presión y la corriente de escape se introduce en la columna de baja presión. Además, al menos parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se puede dividir en una primera y una segunda corrientes secundarias. La primera corriente secundaria se recomprime para formar la corriente de aire refrigerante comprimido y la segunda corriente secundaria se recomprime para formar la corriente de aire comprimido adicional. De forma alternativa, al menos parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se recomprime y se divide en una primera y una segunda corrientes secundarias. En ese caso, la primera corriente secundaria forma la corriente de aire refrigerante comprimido y la segunda corriente secundaria se recomprime para formar la corriente de aire comprimido adicional. Como otra alternativa, al menos parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se recomprime y se divide en una primera y una segunda corrientes secundarias. La primera corriente secundaria forma la corriente de aire comprimido adicional y la segunda corriente secundaria se recomprime para formar la corriente de aire refrigerante.

La presente invención también proporciona un aparato de separación de aire en el que una planta de separación de aire está provista de un compresor de aire principal, una unidad de purificación conectada al compresor de aire principal, un intercambiador de calor principal en comunicación de fluidos con la unidad de purificación para enfriar el aire y un sistema de columnas de destilación conectado al intercambiador de calor principal y configurado para rectificar el aire y producir de este modo, al menos, un producto líquido. Un turboexpansor se conecta al sistema de columnas de destilación de manera que una corriente de escape generada por el turboexpansor se introduce en el sistema de columnas de destilación para impartir refrigeración a la planta de separación de aire. El turboexpansor no se acopla directamente a un solo compresor de la planta de separación de aire en un piñón común;

La planta de separación de aire también tiene un circuito de flujo ramificado ubicado entre la unidad de purificación previa y el turboexpansor para recibir una corriente de aire refrigerante comprimido para variar la producción de, al menos, un producto líquido. El circuito de flujo ramificado tiene un ramal del compresor aumentador de presión que incluye un compresor aumentador de presión para recomprimir la corriente de aire refrigerante comprimido y obtener así una relación de alta presión a través del turboexpansor y un mayor ritmo de producción, y un ramal de desvío, que elude el compresor aumentador de presión, y así obtener una relación de presión más baja a través del turboexpansor y un menor ritmo de producción. Un ramal de recirculación conecta una salida del compresor aumentador de presión a una entrada del compresor aumentador de presión y es conectada por extremos opuestos al ramal del compresor aumentador de presión para el flujo de una corriente de recirculación desde la salida hasta la entrada del compresor aumentador de presión para evitar así la sobrecarga dentro del compresor aumentador de presión. Se proporciona una válvula para permitir la introducción selectiva de la corriente de aire refrigerante comprimido en el ramal del compresor aumentador de presión o el ramal de recirculación.

El sistema de válvulas incluye una primera válvula de control del flujo situada dentro del ramal del compresor aumentador de presión corriente arriba de la entrada del compresor aumentador de presión, una segunda válvula de control del flujo situada dentro del ramal de desvío y una tercera válvula situada en el ramal de recirculación. Además,

dos válvulas se sitúan en el ramal del compresor aumentador de presión y el ramal de desvío, respectivamente, colocadas corriente abajo de la salida del compresor y el ramal de recirculación y corriente arriba de la segunda válvula y configuradas para evitar que el flujo retroceda en el ramal del compresor aumentador de presión cuando la presión del ramal de desvío dentro del ramal de desvío supera la del ramal del compresor aumentador de presión y que el flujo retroceda en el ramal de desvío cuando la presión del ramal del compresor aumentador de presión en la salida del compresor aumentador de presión supera a la del ramal de desvío. Se configura un sistema de control programable para generar señales de control para controlar la apertura de la válvula de la primera válvula de control del flujo, la segunda válvula de control del flujo y la tercera válvula y para activar el compresor aumentador de presión.

El sistema de control es sensible a la entrada selectiva de un usuario para introducir selectivamente la corriente de aire refrigerante comprimido en el ramal del compresor aumentador de presión y el ramal de desvío y se programa de tal manera que, cuando se introduce la corriente de aire refrigerante comprimido en el ramal del compresor aumentador de presión, la primera válvula de control del flujo se abre gradualmente y la segunda válvula de control del flujo se cierra gradualmente para desviar gradualmente la corriente de aire refrigerante comprimido del ramal de desvío al ramal del compresor aumentador de presión y, de este modo, introducir la corriente de aire refrigerante comprimido en el ramal del compresor aumentador de presión, el compresor aumentador de presión se activa, la tercera válvula inicialmente se pone en una posición abierta para permitir el flujo de la corriente de recirculación y, a continuación, se vuelve a poner de una posición abierta a una posición cerrada cuando la presión del compresor aumentador de presión supera la presión de desvío. El sistema de control también se programa de tal manera que cuando la corriente de refrigerante comprimido se introduce en el ramal de desvío, la primera válvula de control del flujo se cierra gradualmente y la segunda válvula de control del flujo se abre gradualmente para desviar gradualmente la corriente de aire refrigerante comprimido desde el ramal del compresor aumentador de presión hasta el ramal de desvío e introducir de este modo la corriente de aire refrigerante comprimido en el ramal de desvío, la tercera válvula se vuelve a poner de la posición cerrada a la posición abierta y el compresor aumentador de presión se desactiva cuando la presión del desvío supera la presión del ramal del compresor aumentador de presión.

El turboexpansor se puede colocar entre una ubicación de un intercambiador de calor principal que tenga una temperatura intermedia entre los extremos caliente y frío del mismo y el sistema de columnas de destilación. En ese caso, el circuito de flujo ramificado se coloca entre la unidad de purificación previa y el intercambiador de calor principal corriente arriba del turboexpansor para recibir una corriente de aire refrigerante comprimido. Además, el circuito de flujo ramificado puede tener un medio para hacer pasar una corriente de aire de purga, compuesta de aire purificado, a través del compresor aumentador de presión después de que el compresor aumentador de presión esté desactivado, para evitar que entre aire ambiente en el compresor aumentador de presión.

En una realización específica de la presente invención, se puede proporcionar un conducto que tenga una salida intermedia que conecte el sistema de columnas de destilación al intercambiador de calor principal de manera que una corriente de líquido se retire del sistema de columnas de destilación y se divida en una primera corriente secundaria de líquido descargada desde la salida intermedia y una segunda corriente secundaria de líquido introducida en el intercambiador de calor principal. El al menos un producto líquido comprende la primera corriente secundaria de líquido y la al menos una válvula de control del flujo de líquido se conecta a la salida intermedia. El intercambiador de calor principal está configurado para calentar la segunda corriente secundaria de líquido para formar una corriente de producto caliente y el compresor de aire principal tiene álabes guía de entrada que pueden ajustarse para controlar el caudal del aire a través del compresor de aire principal y de este modo disminuir el caudal de aire durante el modo de producción baja para mantener a su vez constante el caudal de producto de la corriente de producto caliente.

En esa realización específica, el sistema de columnas de destilación puede comprender una columna de alta presión y una columna de baja presión que funciona a una presión menor que la columna de alta presión, configurada para refinar más los fondos de una columna de oxígeno líquido crudo producidos en la columna de alta presión. La columna de baja presión se conecta a la columna de alta presión en una relación de transferencia de calor, de tal manera que se condense una cabeza de una columna de vapor rico en nitrógeno producido en la columna de alta presión mediante intercambio de calor indirecto con un líquido rico en oxígeno producido en la columna de baja presión, proporcionando de este modo el reflujo de nitrógeno líquido a la columna de alta presión y la columna de baja presión. En ese caso, la corriente de líquido puede ser una corriente de líquido rico en oxígeno compuesta de fondos de una columna de líquido rico en oxígeno producidos en la columna de baja presión. La corriente de líquido rico en oxígeno se divide en la primera corriente secundaria de líquido y la segunda corriente secundaria de líquido y se coloca una bomba dentro del conducto para presurizar la segunda corriente secundaria de líquido y así producir una corriente de producto líquido presurizado que se calienta dentro del intercambiador de calor principal para producir la corriente de producto caliente. Se proporciona un medio para formar otra corriente de aire comprimido entre la unidad de purificación previa y el intercambiador de calor principal. El intercambiador de calor principal se configura para licuar la corriente de aire comprimido adicional y de ese modo formar una corriente de aire líquido y también está en comunicación de fluidos con al menos la columna de baja presión para introducir, al menos, parte de una corriente de aire líquido en la columna de baja presión. Se coloca una válvula de expansión entre el intercambiador de calor principal y la columna de baja presión para reducir la presión de al menos parte de la corriente de aire antes de la introducción a la columna de baja presión.

En esa realización específica, el turboexpansor se puede conectar a la columna de alta presión de manera que la corriente de escape se introduzca en la columna de alta presión. De forma alternativa, el intercambiador de calor principal puede colocarse en comunicación de fluidos con la unidad de purificación previa de manera que parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se enfríe en el intercambiador de calor principal y se introduzca en la columna de alta presión. El turboexpansor se conecta a la columna de baja presión de manera que la corriente de escape se introduzca en la columna de baja presión.

Se pueden proporcionar un primer y un segundo compresores aumentadores de presión en comunicación de fluidos con la unidad de purificación previa de modo que la primera y la segunda corrientes secundarias, formadas por al menos parte de una corriente de aire comprimido y purificado descargada de la unidad de purificación previa, se recompriman en el primer y segundo compresores aumentadores de presión, respectivamente, y formen así, respectivamente, la corriente de refrigerante comprimido y la corriente de aire comprimido adicional. En ese caso, el medio que forma la corriente de aire comprimido adicional es el segundo compresor aumentador de presión y el compresor aumentador de presión dentro del ramal del compresor aumentador de presión es un tercer compresor aumentador de presión. En otra alternativa, un primer compresor aumentador de presión puede proporcionarse en comunicación de fluidos con la unidad de purificación previa de modo que al menos parte de una corriente de aire comprimido y purificado se recomprima. Un segundo compresor aumentador de presión y el circuito de flujo ramificado se conectan al primer compresor aumentador de presión de manera que una primera corriente secundaria descargada del primer compresor aumentador de presión forme la corriente de aire refrigerante comprimido. Una segunda corriente secundaria descargada del primer compresor aumentador de presión se recomprime en el segundo compresor aumentador de presión para formar la corriente de aire comprimido adicional. En dicha realización de la presente invención, el medio que forma la corriente de aire comprimido adicional es el segundo compresor aumentador de presión y el compresor aumentador de presión dentro del ramal del compresor aumentador de presión es un tercer compresor aumentador de presión. En aún otra realización de la presente invención, el primer compresor aumentador de presión puede estar en comunicación de fluidos con la unidad de purificación previa de modo que al menos parte de una corriente de aire comprimido y purificado se recomprima. Un segundo compresor aumentador de presión, situado entre el primer compresor aumentador de presión y el circuito de flujo ramificado y el intercambiador de calor principal, está en comunicación de fluidos con el primer compresor aumentador de presión de manera que una primera corriente secundaria descargada del primer compresor aumentador de presión se recomprima en el segundo compresor aumentador de presión y forme la corriente de aire refrigerante comprimido y una segunda corriente secundaria fluya al intercambiador de calor principal y forme la corriente de aire comprimido adicional. En esta realización, el medio que forma la primera corriente de aire comprimido es el segundo compresor aumentador de presión y el compresor aumentador de presión dentro del ramal del compresor aumentador de presión es un tercer compresor aumentador de presión.

### Breve descripción de los dibujos

Aunque la memoria descriptiva concluye con reivindicaciones que puntualizan claramente el objeto que los solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se comprenderá mejor considerada en relación con los dibujos que se acompañan en los que:

la Figura 1 es un esquema de un diagrama de flujo de proceso de una planta de separación de aire diseñada para llevar a cabo un método que no se corresponde con la presente invención;

la Figura 2 es una alternativa de la Figura 1;

la Figura 3 es un dibujo esquemático detallado de un sistema de control que se utiliza para controlar un sistema de desvío de la presente invención que también se utiliza en las plantas de separación de aire mostradas en las Figuras 1 y 2; y

la Figura 4 es una representación gráfica de la eficacia de un turboexpansor típico en base al diámetro específico frente a la velocidad específica.

### Descripción detallada

Con referencia a la Figura 1, se ilustra una planta 1 de separación de aire. Como se describirá, la planta 1 de separación de aire está diseñada para rectificar el aire mediante la compresión y purificación de la corriente 10 de aire de alimentación, el enfriamiento del aire comprimido y purificado resultante dentro de un intercambiador 2 de calor principal y la posterior destilación del aire dentro de un sistema 3 de columnas de destilación para producir corrientes 130 y 114 de producto líquido de oxígeno y nitrógeno, respectivamente, así como una corriente 136 de producto de oxígeno presurizado y una corriente 122 de producto de nitrógeno como vapor. Sin embargo, esto solo sirve de ejemplo pues la presente invención podría usarse en conexión con una planta de separación de aire diseñada para producir un producto de argón que también se tomaría como un líquido u otros estados del producto de oxígeno y nitrógeno. La planta 1 de separación de aire está provista de un sistema 4 de desvío según la presente invención para variar la relación de presión a través de un turboexpansor 64 y de ese modo variar la refrigeración impartida a la planta 1 de separación de aire durante los ritmos altos y bajos de producción de los productos líquidos.

Más específicamente, la corriente 10 de aire de alimentación se comprime mediante un compresor 12 de aire principal que tiene álabes 13 guía de entrada para producir una corriente 14 de aire comprimido. La corriente 14 de aire comprimido se introduce a continuación en una unidad 16 de purificación previa para producir una corriente 18 de aire comprimido y purificado. Como se conoce en la técnica, la unidad 16 de purificación previa está diseñada para eliminar impurezas de elevado punto de ebullición del aire como el vapor de agua, dióxido de carbono e hidrocarburos. Dicha unidad 16 de purificación previa puede incorporar lechos adsorbentes que funcionen en un ciclo fuera de fase que es un ciclo de adsorción con cambio de temperatura o un ciclo de adsorción con cambio de presión o combinaciones de los mismos.

La corriente 18 de aire comprimido y purificado se introduce, a continuación, en un compresor 20 aumentador de presión y entonces se divide en la primera y segunda corrientes secundarias 22 y 24. La primera corriente secundaria se recomprime en un compresor 26 aumentador de presión del sistema 4 de desvío para formar una corriente 28 de refrigerante comprimido y la segunda corriente secundaria 24 se recomprime en un compresor 30 aumentador de presión para formar una corriente 32 de aire comprimido adicional para los propósitos que se explicarán a continuación en la presente memoria.

Debe observarse que son posibles varias disposiciones de compresores aumentadores de presión según la presente invención. A este respecto, solo son posibles dos compresores aumentadores de presión del tipo mencionado anteriormente en realizaciones de la presente invención. Por ejemplo, es posible una realización en la que el compresor 20 aumentador de presión esté ausente. En ese caso, el primero de los compresores 26 aumentadores de presión recomprime la primera corriente de aire comprimido formada de parte de la corriente 18 de aire comprimido y purificado, para producir la corriente 28 de aire refrigerante comprimido y un segundo de los compresores 30 aumentadores de presión recomprime la segunda corriente secundaria formada por otra parte de la corriente 18 de aire comprimido y purificado para producir la corriente 32 de aire comprimido adicional, aunque a una presión menor que la corriente 32 de aire comprimido adicional tratada anteriormente. Otra posibilidad consiste en suprimir el compresor 30 aumentador de presión. En ese caso, la corriente 18 de aire comprimido y purificado se comprimiría en el primero de los compresores aumentadores de presión, el compresor 20 aumentador de presión, la primera corriente secundaria se comprimiría en el segundo de los compresores aumentadores de presión, el compresor 26 aumentador de presión, para formar la corriente 28 de refrigerante comprimido y la segunda corriente secundaria 24 sería la corriente de aire comprimido adicional. En aún otra realización, el compresor 26 aumentador de presión no estaría presente y, por lo tanto, la corriente 18 de aire comprimido y purificado se comprimiría en el primero de los compresores aumentadores de presión, el compresor 20 aumentador de presión, la primera corriente secundaria formaría la corriente de refrigerante comprimido y la segunda corriente secundaria 24 se comprimiría en el segundo compresor aumentador de presión, el compresor 30 aumentador de presión, para formar la corriente 32 de aire comprimido adicional.

Como se explicará, la corriente 32 de aire comprimido adicional es necesaria en la realización ilustrada para calentar parte de una corriente 128 de líquido rico en oxígeno que se bombea para producir una corriente 136 de producto líquido presurizado. Sin embargo, son posibles realizaciones de la presente invención en las que no haya dicho producto presurizado; y por lo tanto, la corriente 32 de aire comprimido adicional no sería necesaria. En ese caso, una posible realización podría incluir el uso del compresor 20 aumentador de presión solo para crear una corriente de refrigerante comprimido de parte de la corriente 18 de aire comprimido y purificado. Otra parte de la corriente de aire comprimido y purificado se introduciría en el sistema 3 de columnas de destilación para la rectificación.

La corriente 28 de aire comprimido refrigerante se introduce a continuación en un circuito 34 de flujo ramificado del sistema 4 de desvío que tiene un ramal 38 de desvío, un ramal 40 del compresor aumentador de presión, que tiene un compresor 42 aumentador de presión, y un ramal 44 de recirculación. El circuito 34 de flujo ramificado descarga una corriente 46 de salida comprimida, compuesta de la corriente 28 de aire refrigerante comprimido, que tiene una presión que depende de si la corriente de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal 38 de desvío o el ramal 40 del compresor aumentador de presión. Cuando la corriente 28 de refrigerante se introduce en el ramal 40 del compresor aumentador de presión, se recomprime mediante el compresor 42 aumentador de presión para recomprimir la corriente 28 de refrigerante comprimido y permitir así aumentar la presión de la corriente 46 de salida comprimida con respecto a la obtenida cuando la corriente de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal 38 de desvío. Cuando la corriente 28 de refrigerante comprimido se introduce en el ramal 38 de desvío, el compresor 42 aumentador de presión se elude y, por lo tanto, la corriente 46 de salida comprimida está a una presión, menos conductos y pérdidas de válvula, que es aproximadamente igual a la de la corriente 28 de refrigerante comprimido entrante que, evidentemente, es menor que cuando dicha corriente se recomprime por el compresor 42 aumentador de presión. El ramal 44 de recirculación permite mantener una relación de presión a través del compresor 42 aumentador de presión independientemente de cualquier redirección de la corriente 28 de aire refrigerante comprimido entre el ramal 38 de desvío y el ramal 40 del compresor aumentador de presión para evitar que el compresor 42 aumentador de presión encuentre condiciones operativas de sobrecarga.

De una manera que se describirá con mayor detalle a continuación en la memoria, el desvío de la corriente 28 de aire comprimido refrigerante entre el ramal 40 del compresor aumentador de presión y el ramal 38 de desvío es controlado activamente por una primera y una segunda válvulas 48 y 50 de control del flujo, situadas en el ramal 40 del compresor aumentador de presión y el ramal 38 de desvío, respectivamente, y de manera pasiva por válvulas 52 y 54 de retención situadas en dichos ramales. Una tercera válvula 56 en el ramal 44 de recirculación controla activamente el flujo de la corriente de recirculación dentro del ramal 44 de recirculación. Las válvulas 58,

60 y 62 controlan la introducción de flujo de una corriente de purga, compuesta por aire purificado, en el compresor 42 aumentador de presión cuando el mismo está en una condición desactivada.

5 La corriente 46 de salida comprimida se introduce a continuación en el intercambiador 2 de calor principal donde se enfría parcialmente a una temperatura intermedia, entre las temperaturas de los extremos caliente y frío del intercambio de calor principal para producir una corriente 63 enfriada parcialmente que se introduce en un turboexpansor 64 que genera una corriente 66 de escape. La corriente 66 de escape se introduce en la columna 3 de destilación para impartir la refrigeración generada por la expansión. Como podrán deducir los expertos en la técnica, aunque la corriente 46 de salida comprimida se enfría parcialmente dentro del intercambiador 2 de calor principal, en una posible realización de la presente invención, la corriente 46 de salida comprimida podría eludir el intercambiador 2 de calor principal e introducirse directamente en el turboexpansor 64, en cuyo caso el turboexpansor 64 sería un expansor caliente y se podría proporcionar un turboexpansor adicional para impartir una carga base de refrigeración o para mantener la planta de separación de aire de dicha realización en equilibrio térmico.

15 En el método ilustrado, el trabajo de expansión generado por el turboexpansor 64 se disipa en la producción de electricidad al acoplarlo a un generador eléctrico 67. La relación de presión a lo largo del turboexpansor 64 y, por lo tanto, la refrigeración generada de este modo dependerá de la presión de la corriente 46 de salida comprimida que, como se describió anteriormente, depende de si la corriente 28 de aire refrigerante comprimido se introdujo en el ramal 38 de desvío y se genera así a una presión más baja o se introdujo en el ramal 40 del compresor aumentador de presión y se genera así a una presión más alta. Cuando la corriente 46 de salida comprimida se encuentra a mayor presión, la relación de presión a través del turboexpansor 64 aumentará para aumentar a su vez la refrigeración generada y el ritmo al que los productos líquidos pueden producirse. De forma alternativa, cuando la corriente 46 de salida comprimida se encuentra a menor presión, la relación de presión a través del turboexpansor 64 disminuirá para disminuir a su vez la refrigeración generada y el ritmo al que los productos líquidos se producen.

25 Durante los ritmos altos y bajos de producción de líquido, el aire que debe destilarse dentro del sistema de 3 columna de destilación se enfría en el intercambiador 2 de calor principal. A este respecto, la corriente 28 de aire de refrigeración comprimido, después de pasar por el ramal 38 de desvío o el ramal 40 del compresor aumentador de presión se enfría parcialmente, como la corriente 46 de salida comprimida, antes de introducirla en el turboexpansor 64. La corriente 32 de aire comprimido adicional se enfría totalmente dentro del intercambiador 2 de calor principal y se condensa para producir una corriente 68 de aire líquido. El intercambiador 2 de calor principal puede tener una estructura de aluminio cobresoldado y, aunque se ilustra como una sola unidad, podría ser una serie de dichas unidades operadas en paralelo. Además, también es posible una instrucción apilada en la que las corrientes de alta presión, tales como la corriente 32 de aire comprimido adicional y la corriente 134 de oxígeno líquido bombeado, que se explicarán, se someten a un intercambio de calor indirecto dentro de una unidad de alta presión separada.

35 El sistema 3 de columnas de destilación tiene una columna 70 de alta presión y una columna 72 de baja presión térmicamente unidas en una relación de transferencia de calor por un calderín condensador 74 y que funciona a una presión inferior a la de la columna 70 de alta presión. La corriente 66 de escape se introduce en la columna 70 de alta presión y la corriente de aire líquido se expande a una presión de la columna de alta presión mediante una válvula 76 de expansión y se divide en una primera y una segunda corrientes secundarias 78 y 80 de aire líquido. La primera corriente secundaria de aire líquido se introduce en la columna 70 de alta presión y la segunda corriente secundaria 80 de aire, después de la expansión en una válvula 82 de expansión a una presión de la columna 72 de baja presión, es introducida en la columna 72 de baja presión.

45 La columna 70 de alta presión está provista de elementos 84 y 86 de contacto de transferencia de masa, tales como rellenos o bandejas estructurados o una combinación de rellenos y bandejas para entrar en contacto con las fases líquida descendente y vapor ascendente del aire que se introduce en la columna 70 de alta presión por medio de la primera corriente secundaria 78 de aire líquido y la corriente 66 de escape. Debido a dicho contacto, la fase líquida descendente se enriquecerá cada vez más con oxígeno a medida que ascienda para producir una cabeza 88 de columna de vapor rico en nitrógeno y fondos 90 de columna de oxígeno líquido crudo, también conocido como líquido de caldera. Se extrae una corriente 92 de oxígeno líquido crudo de la columna 70 de alta presión, se expande con válvula mediante la válvula 94 de expansión a la presión de la columna 72 de baja presión y a continuación se introduce en la columna 72 de baja presión para seguir con su refinado. La corriente 92 de oxígeno líquido crudo puede subenfriarse antes de dicha introducción en una realización de la presente invención.

50 La columna 72 de baja presión también está provista de elementos 96, 98, 100 y 102 de contacto de transferencia de masa para volver a entrar en contacto con las fases de líquido descendente y vapor para producir fondos 104 de la columna de líquido enriquecido con oxígeno y una cabeza 106 de la columna de vapor rico en nitrógeno. El calderín condensador 74 vaporiza parcialmente los fondos 104 de la columna de líquido enriquecido con oxígeno mediante intercambio de calor indirecto con una corriente 105 de vapor rico en nitrógeno compuesta por la cabeza 88 de la columna de vapor rico en nitrógeno de la columna 70 de alta presión. La vaporización inicia la formación de la fase de vapor ascendente dentro de la columna 72 de baja presión y condensa el vapor rico en nitrógeno para producir una corriente 106 de líquido rico en nitrógeno. La corriente 106 de líquido rico en nitrógeno se divide en una primera y segunda corrientes secundarias 108 y 110 de líquido rico en nitrógeno. La primera corriente secundaria

108 de líquido rico en nitrógeno se introduce en la parte superior de la columna 70 de alta presión, como reflujo, para iniciar la formación de la fase de líquido descendente. La segunda corriente secundaria 110 de líquido rico en nitrógeno se subenfria a continuación en un intercambiador 112 de calor de subenfriamiento y opcionalmente se subdivide en una corriente 114 de producto de nitrógeno líquido y una corriente 116 de reflujo de nitrógeno líquido que, tras la expansión en la válvula 118 a una presión compatible, se introduce en la parte superior de la columna 72 de baja presión para iniciar la formación de la fase de líquido descendente.

Una corriente 120 de vapor rico en nitrógeno compuesta por la cabeza 106 de la columna de vapor rico en nitrógeno se extrae de la parte superior de la columna 72 de baja presión, se calienta parcialmente en el intercambiador 112 de calor de subenfriamiento y después se calienta completamente en el intercambiador de calor principal para producir una corriente 122 de producto de nitrógeno. Además, una corriente 124 de nitrógeno residual puede retirarse de la columna 72 de baja presión, a un nivel por debajo del cual se extrae la corriente 120 de vapor rico en nitrógeno, se calienta parcialmente en el intercambiador 112 de calor de subenfriamiento y después se calienta completamente en el intercambiador 2 de calor principal para formar una corriente 126 de nitrógeno residual caliente. El calentamiento de dichas corrientes en el intercambiador 112 de calor de subenfriamiento proporciona el intercambio de calor indirecto necesario para subenfriar la segunda corriente 110 de vapor rico en nitrógeno. El calentamiento adicional de dichas corrientes en el intercambiador 2 de calor principal ayuda a enfriar el aire entrante. La corriente 126 de nitrógeno residual caliente puede utilizarse para regenerar adsorbentes en los lechos adsorbentes de la unidad 16 de purificación previa.

Se puede retirar una corriente 128 de líquido rico en oxígeno, compuesta por los fondos 104 de la columna de líquido rico en oxígeno residual de la columna 72 de baja presión y luego se divide en una corriente 130 de producto de oxígeno líquido y una corriente restante se presuriza con una bomba 132 para producir una corriente 134 de oxígeno líquido bombeado. La corriente 134 de oxígeno líquido bombeado se calienta a continuación completamente en el intercambiador 2 de calor principal para producir una corriente 136 de producto de oxígeno presurizado. Dependiendo del grado de presurización, la corriente 136 de producto de oxígeno presurizado se vaporiza en el intercambiador de calor principal o se calienta para producir dicha corriente de producto como un fluido supercrítico. El intercambio de calor en dicho calentamiento lo proporciona la corriente 32 de aire presurizado adicional. Como puede apreciarse, si la corriente de producto de oxígeno como vapor tuviera que tomarse sin una presurización adicional, la corriente 32 de aire presurizado adicional no estaría necesariamente a una presión adecuada para proporcionar la función de intercambio de calor necesaria. Asimismo, debe mencionarse que la corriente 130 de producto líquido de oxígeno podría ser el único producto líquido que se tome, o la corriente 114 de producto líquido de nitrógeno podría ser la única corriente de producto líquido que se tome. A este respecto, si se deseara una corriente de nitrógeno a presión, parte de la corriente 114 de producto de nitrógeno líquido podría presurizarse igualmente mediante una bomba.

Con breve referencia a la Figura 2, en una planta 1' de separación de aire, se enfría completamente una corriente 138 de aire principal formada por parte de la corriente 18 de aire comprimido y purificado dentro del intercambiador 2 de calor principal y se introduce a continuación en la columna 70 de alta presión. La corriente 66' de escape producida por el turboexpansor 36 se introduce en la columna 72 de baja presión. La descripción de las características de la planta 1' de separación de aire es, por lo demás, similar a las explicadas con respecto a la planta 1 de separación de aire.

Como se mencionó anteriormente, se incorpora un sistema de válvulas en el sistema 4 de desvío para controlar el flujo dentro de los ramales del circuito 34 de flujo ramificado. Aunque se contempla la posibilidad de un control manual, el control se automatiza preferiblemente con el uso de un controlador 140 mostrado en la Figura 3. El controlador 140 podría ser un controlador lógico programable que puede obtenerse de una variedad de fuentes o podría, alternativamente, incorporarse en el sistema de control de planta de la planta 1 de separación de aire. El sistema 140 de control se activa por la entrada 142 del usuario para configurar la planta en modos de producción en los que los productos líquidos se producen a ritmos más altos o más bajos. El sistema 140 de control está diseñado para controlar el funcionamiento de las válvulas de manera que el desvío de la corriente 28 de aire refrigerante comprimido entre el ramal 40 del compresor aumentador de presión y el ramal 34 de desvío sea gradual y con el control independiente de la recirculación de la corriente de recirculación dentro del ramal 44 de recirculación, que actúa con independencia del ramal 34 de desvío para evitar que el compresor 42 aumentador de presión entre en sobrecarga. A su vez, esto permite un intervalo mucho mayor en la relación de presión a través del turboexpansor 36 que el que es posible en la técnica anterior y, por lo tanto, de producción de líquidos.

Específicamente, cuando la planta de separación de aire se cambia de un ritmo bajo de producción de líquido al ritmo alto de producción de líquido, la primera válvula 48 de control del flujo se abre gradualmente y la segunda válvula 50 de control, dentro del ramal 38 de desvío, se cierra gradualmente para desviar gradualmente la corriente 28 de refrigerante comprimido del ramal 38 de desvío al ramal 40 del compresor aumentador de presión. Debe observarse que el término "válvula de control del flujo", como se utiliza en la presente memoria y en las reivindicaciones, significa una válvula capaz de controlar o dosificar el flujo. Las señales de control para la primera y la segunda válvulas 48 y 50 de control del flujo se transmiten a través de unas conexiones eléctricas 144 y 146, respectivamente. A este respecto, preferiblemente los tiempos de apertura y cierre deberían ser de aproximadamente 5 segundos. Así, se programan unas funciones en rampa en el controlador 140 para obtener la apertura y cierre de dichas válvulas de control del flujo. Como podrían apreciar los expertos en la técnica, un cierto grado de afinación sería necesario en la práctica para perfeccionar completamente dichas funciones en rampa. Preferiblemente, se introduce una corriente de purga, compuesta de aire purificado, en el compresor 42 aumentador

de presión antes del desvío de la corriente 28 de refrigerante comprimido al ramal 40 del compresor aumentador de presión. Para finalizar la introducción de la corriente de purga, la válvula 58 se pone en la posición cerrada y la válvula 60 de retención se cierra al aumentar la presión dentro del ramal 40 del compresor aumentador de presión. Después, una válvula 62 se pone en la posición cerrada. El sistema 140 de control activa entonces el compresor 42 aumentador de presión a través de una conexión eléctrica 148. Durante el momento anterior en el que la corriente de aire refrigerante comprimido se ha desviado al ramal 38 de desvío, la tercera válvula 56 se puso en la posición abierta. Sin embargo, incluso en una realización en la que la tercera válvula 56 está en una posición cerrada, esta se volverá a poner en una posición abierta. Esto permite que el gas comprimido de la corriente 28 de aire comprimido refrigerante fluya desde la salida del compresor 42 aumentador de presión hasta la entrada y evite con ello la sobrecarga. Cuando la presión del ramal del compresor aumentador, dentro del ramal 40 del compresor aumentador de presión, supera la presión del ramal de desvío, dentro del ramal 38 de desvío, la válvula 54 de retención se cierra para evitar que el flujo retroceda en el ramal 38 del compresor aumentador de presión. Al mismo tiempo se abre una válvula 52. Esto puede ser automático y, por tanto, la válvula 52 puede ser una válvula de retención. Evidentemente, también puede ser una válvula que se active a distancia que se active al cerrar la válvula 54 de retención. La válvula 54 de retención también podría ser, por supuesto, una válvula que se active a distancia. En este punto, la segunda válvula 50 de control del flujo puede ponerse, preferiblemente, en una posición cerrada y la tercera válvula 56 en el ramal 44 de desvío se vuelve a poner en la posición cerrada. Esta recolocación se produce a partir del cierre de la válvula 54 de retención y la apertura de la válvula 52, detectándose la posición de dichas válvulas por el controlador 140 a través de conexiones eléctricas 150 y 152. Aunque no se ilustra, el turboexpansor 36 puede estar provisto de álabes guía de entrada para permitir que el turboexpansor 36 se ajuste para un funcionamiento estable.

Cuando la planta de separación de aire se cambia del ritmo alto de producción de líquido al ritmo bajo de producción de líquido, la corriente 28 de aire refrigerante comprimido se desvía gradualmente desde el ramal 40 del compresor aumentador de presión hasta el ramal 38 de desvío. Para dicho fin, la segunda válvula 56 de control se abre gradualmente para aumentar gradualmente el flujo de la corriente 28 de aire refrigerante comprimido al ramal 34 de desvío. Al mismo tiempo, la primera válvula 48 de control del flujo se cierra gradualmente para disminuir gradualmente el flujo de la corriente 28 de aire refrigerante comprimido dentro del ramal 44 del compresor aumentador de presión. Al mismo tiempo, el controlador 140 ordena a la tercera válvula 56 en el ramal de desvío que se abra para permitir el flujo de una corriente de recirculación dentro del ramal 44 de recirculación desde la salida hasta la entrada del compresor 42 aumentador de presión para evitar la sobrecarga. Una vez que la presión del ramal de desvío supera la presión del ramal del compresor aumentador de presión, la válvula 54 de retención se abre, la válvula 52 se cierra, el controlador 140 cierra la válvula 56 y el compresor 42 aumentador de presión se desactiva. Como se ha mencionado anteriormente, el término “desactivado”, según se usa en la presente memoria y en las reivindicaciones, abarca una operación en la que el compresor 42 aumentador de presión se desactiva o se pone en un modo de funcionamiento de baja presión. En el modo de funcionamiento de baja presión, la energía se reduce y el compresor funciona a una presión de entrada muy baja y a un caudal másico reducido. Además de la recirculación, el modo de funcionamiento de baja presión requeriría un ajuste adecuado de los álabes guía de entrada con respecto al compresor. En cualquier caso, apagar el compresor 42 aumentador de presión o ponerlo en un modo de baja presión dará como resultado que se consuma menos electricidad durante la bajada del volumen de producción de líquido.

En este punto, la corriente de aire de purga se introduce en el compresor 42 aumentador de presión para evitar la entrada de aire sin tratar. El problema con la entrada de aire ambiente en el compresor 42 aumentador de presión es que el aire ambiente no ha sido purificado de los contaminantes de alto punto de ebullición; y sin dicho sistema, los contaminantes de alto punto de ebullición podrían entrar en el intercambiador 2 de calor principal y la columna 3 de destilación y solidificarse. La corriente de aire de purga está compuesta de aire purificado y puede obtenerse de una corriente de purga desde un compresor en funcionamiento que también se use para suministrar aire de instrumentación a la planta de separación de aire. A este respecto, como se conoce en la técnica, el compresor 42 aumentador de presión puede estar provisto de juntas laberínticas que rodeen la parte exterior del rodete del compresor para evitar que el aire a alta presión se escape de dicha región. En dicha disposición se obtiene un equilibrio de fuerzas que actúan sobre el rodete del compresor al equilibrar las fuerzas de la cara del buje del compresor en la entrada del compresor y las fuerzas que actúan en la cara posterior del rodete. Las fuerzas sobre la cara posterior del rodete son producidas por el aire comprimido a alta presión que actúa en una región anular del rodete, fuera de las juntas laberínticas, y en una región circular interior de la cara posterior del rodete, dentro de las juntas laberínticas, proporcionando aire desde la entrada del compresor hasta dicha región interior del rodete. Considerando que el compresor 42 aumentador de presión, cuando está desactivado, funciona en el modo de baja presión, la presión en la entrada del compresor 42 aumentador de presión será, de forma típica, de aproximadamente 5 psia. Cuando la primera válvula 48 de control del flujo se pone en una posición totalmente cerrada, la válvula 60 de retención se abre debido a dicha presión baja y la presión ligeramente más alta del aire de instrumentación. En este punto, la válvula 62 se pone en una posición abierta a través de la acción de control efectuada a través de una conexión eléctrica 154 entre la válvula 62 y el controlador 140. Después de eso, la válvula 58 se vuelve a poner en una posición abierta mediante una conexión eléctrica 156 entre el controlador 140 y la válvula 58. La corriente de aire de purga simplemente escapa de las juntas laberínticas al interior del compresor y a través de la cámara espiral a la salida del compresor para evitar que entre aire ambiente en el compresor 42 aumentador de presión. En lugar de dicha operación, también es posible que la corriente de aire de purga simplemente escape de la salida del compresor y se descargue a través de la válvula 58.

Como puede apreciarse, la densidad de aire que entra en la planta 1 de separación de aire variará debido a factores tales como la temperatura y la humedad. Sin embargo, es importante que el turboexpansor 64 se exponga a relaciones de presión específicas durante los ritmos de producción tanto altos como bajos y que la presión entrante tenga un efecto sobre la presión de la corriente 28 de aire refrigerante comprimido y, por lo tanto, tales relaciones de presión. Preferiblemente, para compensar la variación en la densidad del aire, la presión de la corriente 46 de salida comprimida puede controlarse de manera que a su vez controle dichas relaciones de presión. La presión de la corriente 28 de aire refrigerante comprimido se regula por medio de un sensor 158 de presión que genera una señal atribuible a la presión que se envía a un controlador 160 proporcional, integral y derivativo ("PID") que a su vez genera una señal de control para controlar la apertura de una válvula 162 para mantener dicha presión en un valor establecido. Cuando la primera válvula 48 de control se pone en la posición abierta y el compresor 42 aumentador de presión se activa, la primera válvula 48 de control puede emplearse para regular la presión de entrada en el compresor 42 aumentador de presión. Para dicho fin, puede proporcionarse un sensor 164 de presión para generar una señal atribuible a la presión que se alimenta al controlador PID 166. El controlador PID 166 tiene un valor establecido programado previamente para ajustar la apertura de la primera válvula 48 de control para ese fin.

En las dos plantas de separación de aire descritas anteriormente, durante un modo de funcionamiento de bajo volumen, cuando se desee menos líquido se debe tomar menos líquido. Para ello, se proporcionan las válvulas 170 y 172 de control para controlar el caudal de las corrientes 130 y 114 de producto de oxígeno y nitrógeno líquido, respectivamente. Como se puede apreciar, si durante el modo de bajo volumen de producción no se cambiara el ritmo de extracción de los productos de oxígeno y nitrógeno líquido, el nivel de fondos 104 de la columna de líquido rico en oxígeno dentro de la columna 72 de baja presión descendería, produciendo menos borboteo en la columna 74 de baja presión y menos reflujo de nitrógeno líquido en la columna 70 de alta presión. A este respecto, es preferible mantener constante el nivel de fondos 104 de la columna de líquido rico en oxígeno. Por lo tanto, aunque no se ilustra, el flujo del líquido podría controlarse por controladores PID locales que reaccionen con el flujo de líquido y los objetivos establecidos por un controlador maestro para dicho flujo de líquido. El controlador maestro respondería, a su vez, a una señal de un detector de nivel colocado dentro de la columna 72 de baja presión para medir el nivel de líquido de los fondos 104 de la columna de líquido rico en oxígeno. De forma alternativa, el control podría usarse para volver a poner las válvulas de control automáticamente al entrar en los modos de alta y baja producción de líquido. Otra alternativa más es permitir el control manual por parte del personal operador de la planta.

Como puede apreciarse, durante el ritmo bajo de producción de líquido se retirarán menos moléculas de oxígeno y nitrógeno como líquido de la planta 1 de separación de aire. Si no se hace nada más; y si el caudal a través del compresor 12 de aire principal se mantiene a un nivel constante, el caudal de los productos gaseosos aumentará como la corriente 136 de producto de oxígeno presurizado. Sin embargo, a menudo es deseable mantener dicha corriente a un caudal constante. En tal caso, los álabes 13 guía de entrada del compresor 12 de aire principal pueden ajustarse para reducir el flujo de la corriente 10 de aire de alimentación entrante que entra en la planta 1 de separación de aire para mantener la producción gaseosa a un nivel constante.

Con breve referencia a la Figura 4, se ilustra una representación gráfica de la eficiencia de un turboexpansor típico en función de la velocidad específica ( $N_s$ ) y el diámetro específico ( $D_s$ ) con isolíneas de eficiencia. Dicho gráfico ilustra todo el intervalo de funcionamiento del turboexpansor frente a una gran variación de velocidad, variación de relación de presión y variación de flujo volumétrico. En el caso del turboexpansor 64 o cualquier turboexpansor, a medida que la presión de entrada de la turbina cambia a una temperatura de entrada constante y un flujo constante, el volumen a través de la máquina aumenta y la relación de expansión descende. La puesta en práctica típica del diseño es operar la máquina cerca del punto "C" y así maximizar la eficiencia del diseño. En una planta 1 de separación de aire de la presente invención no es la opción ideal que la presión de entrada de la turbina varíe para manipular los ritmos de producción de líquido. En su lugar, el turboexpansor debería diseñarse de manera que el turboexpansor pueda funcionar en ubicaciones de alta producción de líquido, punto "A" y baja producción de líquido, punto "B", mientras se mantiene una elevada eficiencia en ambos puntos aunque no se alcance necesariamente la eficiencia óptima en cada caso. Al seleccionar los puntos para que incluyan la eficiencia ideal, se asegura que ambos puntos estén en la región de eficiencia correcta en lugar de en la ideal, minimizando la penalización de rendimiento en ambos ritmos alto y bajo de producción. En este sentido, es preferible que el intervalo entre la eficiencia óptima y los ritmos alto o bajo de producción de líquido no sea superior al 5%. Sin embargo, es posible operar la planta 1 de separación de aire a una relación de presión media entre los puntos A y B, a un caudal másico constante, donde se podría alcanzar la eficiencia ideal.

El turboexpansor 64 funcionará incluso si el caso de volumen alto a baja presión tiene una eficacia muy deficiente. Esto es debido a la naturaleza y la favorabilidad termodinámica de expansión a través de una turbina en oposición a una compresión en un aumentador de presión. Sin embargo, a través de todos los intervalos de funcionamiento, el dispositivo de carga del turboexpansor 64 debe ser capaz de absorber la energía generada para evitar un exceso de velocidad. Esta carga puede estar en forma de generador eléctrico 62, un acoplamiento a una caja de engranajes como se ilustra en US-5.901.579 o un freno hidráulico o neumático. Sin embargo, el trabajo realizado por un turboexpansor usado en relación con la presente invención no debe disiparse directamente en un solo compresor, por ejemplo, en un turboexpansor cargado por un aumentador de presión donde se monta un compresor y el turboexpansor en un piñón común. En ese caso, a medida que la relación de presión cambia a través del turboexpansor, la velocidad del turboexpansor cambiará y, por lo

tanto, el compresor. Como resultado, el intervalo de funcionamiento se estrechará porque a medida que la velocidad disminuya durante el periodo de baja producción de líquido dicho compresor se llevará a sobrecarga.

5 En un turboexpansor, tal como el turboexpansor 64 usado en relación con la presente invención, como la presión en el turboexpansor 56 es variable, el turboexpansor 64 debe tener en cuenta las condiciones ampliamente variables del empuje del rotor causadas por la variación en las presiones en el buje y la punta en las expansiones. Si esto no se controla, el rodete que se utiliza en un dispositivo de este tipo podría hacer contacto con partes fijas, los engranajes transmisores podrían sobrefatigarse o podría ocurrir otra avería. Esta carga de empuje se puede aliviar usando varios esquemas diferentes conocidos en la técnica, tales como cojinetes de empuje clásicos  
10 capaces de soportar esas cargas, anillos de tope de engranajes integrales cuando el turboexpansor 64 deba montarse directamente en una máquina con engranajes integrales, como se muestra en la patente US-5.901.579, pistones compensadores, pistones compensadores montados en el rodete y juntas de gas seco. Debe observarse que el compresor 42 aumentador de presión experimentaría una variabilidad similar en la carga y, como tal,  
15 podría incorporar los medios explicados anteriormente para contrarrestar cargas de empuje muy variables.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para separar aire en una planta (1) de separación de aire que comprende:

5 rectificar aire comprimido, purificado y enfriado en un sistema (3) de columnas de destilación de la planta (1) de separación de aire que está configurada para producir al menos un producto líquido (136) e impartir refrigeración a la planta (1) de separación de aire con el uso de un turboexpansor (64) a velocidad constante acoplado a un engranaje principal que también  
 10 acciona los compresores a velocidad constante y que a su vez es accionado por un motor eléctrico de manera que a una velocidad constante y a una relación de presión alta a través del turboexpansor se disipa más trabajo de expansión en el engranaje principal para reducir la energía consumida por el motor eléctrico que acciona la disposición, impartándose la refrigeración formando una corriente (28) de aire refrigerante comprimido dentro de la planta (1) de separación de aire, expandiendo la corriente (28) de aire refrigerante comprimido en un turboexpansor (64) para producir una corriente (66) de escape, e introduciendo la corriente (66) de escape en el sistema (3) de columnas de destilación de la planta (1) de separación de aire;  
 15 variando la producción del al menos un producto líquido introduciendo selectivamente la corriente (28) de aire refrigerante comprimido bien en un ramal (40) del compresor aumentador de presión de un circuito (34) de flujo ramificado que tiene un compresor (42) aumentador de presión a velocidad constante para recomprimir la corriente (28) de aire refrigerante comprimido y obtener así una relación de alta presión a través del turboexpansor (64) y un mayor ritmo de producción del producto líquido o bien en un ramal (38) de desvío del circuito (34) de flujo ramificado, que elude el compresor (40) aumentador de presión, y obtener así una relación de baja presión a través del turboexpansor (64) y un menor ritmo de producción del producto líquido;  
 20 la corriente (28) de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal (40) del compresor aumentador de presión desviando gradualmente la corriente (28) de aire refrigerante comprimido del ramal (38) de desvío al ramal (40) del compresor aumentador de presión, activando el compresor (42) aumentador de presión y haciendo circular una corriente de recirculación que fluye dentro de un ramal (44) de recirculación del circuito (34) de flujo ramificado desde una salida del compresor (42) aumentador de presión hasta una entrada del compresor (42) aumentador de presión hasta que la presión del ramal (40) del compresor  
 25 aumentador de presión en la salida del compresor (42) aumentador de presión supere la presión de desvío dentro del ramal (38) de desvío tras lo cual se suspende el flujo de tanto la corriente de recirculación como la corriente (28) de aire refrigerante comprimido dentro del ramal (38) de desvío; y  
 30 la corriente (28) de aire refrigerante comprimido se introduce en el ramal (38) de desvío desviando gradualmente la corriente (28) de aire refrigerante comprimido del ramal (40) del compresor aumentador de presión al ramal (38) de desvío mientras se hace circular la corriente de recirculación en el ramal (44) de recirculación hasta que la presión de desvío supere la presión del ramal del compresor aumentador de presión tras lo cual el compresor (42) aumentador de presión se desactiva y se pone en un modo de funcionamiento de baja presión en el que se reduce la energía y el compresor (42) aumentador de presión funciona a una presión de entrada muy baja y a un caudal másico reducido;  
 35 en donde el turboexpansor (64) trabaja con una eficiencia no óptima durante la producción alta de líquido o la producción baja de líquido.

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

50 la corriente (28) de aire refrigerante comprimido se enfría parcialmente en un intercambiador (2) de calor principal utilizado para enfriar el aire; y el circuito (34) de flujo ramificado se conecta a un extremo caliente del intercambiador (2) de calor principal.

3. El método de la reivindicación 1, en donde cuando el compresor (42) aumentador de presión se desactiva, se hace pasar una corriente de aire de purga, compuesta de aire purificado, a través del compresor (42) aumentador de presión para evitar que el aire ambiente entre en el compresor (42) aumentador de presión.

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

60 se retira una corriente (128) de líquido del sistema (3) de columnas de destilación y se divide en una primera corriente secundaria (130) de líquido y una segunda corriente secundaria (134) de líquido; el al menos un producto líquido comprende la primera corriente secundaria (130) de líquido; la segunda corriente secundaria (134) de líquido se calienta dentro del intercambiador (2) de calor principal para formar una corriente (136) de producto caliente; y  
 65

durante la disminución de producción de al menos un producto líquido, el caudal del aire del aire suministrado a la planta (1) de separación de aire se reduce para mantener constante el caudal del producto de la corriente (136) de producto caliente.

- 5 5. El método de la reivindicación 4, en donde:
- 10 el sistema (3) de columnas de destilación comprende una columna (70) de alta presión y una columna (72) de baja presión que funciona a una presión más baja que la columna (70) de alta presión, configurada para refinar más los fondos (90) de una columna de oxígeno líquido crudo producidos en la columna (70) de alta presión y conectada a la columna (70) de alta presión en una relación de transferencia de calor de manera que una cabeza (88) de la columna de vapor rico en nitrógeno producido en la columna (70) de alta presión se condense a través del intercambio de calor indirecto con un líquido rico en oxígeno producido en la columna (72) de baja presión, proporcionando así un reflujo (108, 110) de nitrógeno líquido a la columna (70) de alta presión y la columna (72) de baja presión;
- 15 la corriente de líquido es una corriente (128) de líquido rico en oxígeno compuesta de fondos (104) de una columna de líquido rico en oxígeno producidos en la columna (72) de baja presión; la corriente (128) de líquido rico en oxígeno se divide en la primera corriente secundaria (130) de líquido y la segunda corriente secundaria (134) de líquido;
- 20 la segunda corriente secundaria de líquido se bombea para producir una corriente (134) de producto líquido presurizado y se calienta dentro del intercambiador (2) de calor principal para producir la corriente (136) de producto caliente; se forma una corriente (32) de aire comprimido adicional dentro de la planta (1) de separación de aire;
- 25 la corriente (32) de aire comprimido adicional se licúa en el intercambiador (2) de calor principal mediante intercambio de calor indirecto con la corriente de producto líquido presurizado para producir así una corriente (68) de aire líquido; y se reduce la presión de al menos parte de la corriente (68) de aire líquido y se introduce en al menos la columna (72) de baja presión.
- 30 6. El método de la reivindicación 5, en donde la corriente (66) de escape se introduce en la columna (70) de alta presión.
- 35 7. El método de la reivindicación 5, en donde:
- una corriente (138) de aire principal formada por parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se enfría dentro del intercambiador (2) de calor principal y se introduce en la columna (70) de alta presión; y la corriente (66) de escape se introduce en la columna (72) de baja presión.
- 40 8. El método de la reivindicación 5, en donde:
- al menos parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado se divide en una primera y una segunda corrientes secundarias (22, 24);
- 45 la primera corriente secundaria (22) se recomprime para formar la corriente (28) de aire refrigerante comprimido; y la segunda corriente secundaria (24) se recomprime para formar la corriente (32) de aire comprimido adicional.
- 50 9. El método de la reivindicación 5, en donde:
- al menos parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se recomprime y se divide en una primera y una segunda corrientes secundarias (22, 24);
- 55 la primera corriente secundaria (22) forma la corriente (28) de aire refrigerante comprimido; y la segunda corriente secundaria (24) se recomprime para formar la corriente (32) de aire comprimido adicional.
- 60 10. El método de la reivindicación 5, en donde:
- al menos parte del aire, después de haber sido comprimido y purificado, se recomprime y se divide en una primera y una segunda corrientes secundarias (22, 24);
- 65 la primera corriente secundaria (22) forma la corriente (32) de aire comprimido adicional; y la segunda corriente secundaria (24) se recomprime para formar la corriente (28) de aire refrigerante.
11. Un aparato para la separación de aire que comprende:

una planta (1) de separación de aire que tiene un compresor de aire principal, una unidad de purificación conectada al compresor de aire principal, un intercambiador (2) de calor principal en comunicación de fluidos con la unidad de purificación para enfriar el aire, un sistema (3) de columnas de destilación conectado al intercambiador (2) de calor principal y configurado para rectificar el aire y para producir así al menos un producto líquido y un turboexpansor (64) a velocidad constante conectado al sistema (3) de columnas de destilación de manera que una corriente (66) de escape generada por el turboexpansor (64) se introduce en el sistema (3) de columnas de destilación para impartir así refrigeración a la planta (1) de separación de aire, el turboexpansor (64) está acoplado a un engranaje principal que también acciona los compresores a velocidad constante y que a su vez es accionado por un motor eléctrico de manera que a una velocidad constante y a una relación de presión alta a través del turboexpansor se disipa más trabajo de expansión en el engranaje principal para reducir así la energía consumida por el motor eléctrico que acciona la disposición; teniendo también la planta (1) de separación de aire un circuito (34) de flujo ramificado ubicado entre la unidad (16) de purificación previa y el turboexpansor (64) para recibir una corriente (28) de aire refrigerante comprimido para variar la producción de al menos un producto líquido y teniendo un ramal (40) del compresor aumentador de presión que incluye un compresor (42) aumentador de presión a velocidad constante para recomprimir la corriente (28) de aire refrigerante comprimido y obtener así una relación de alta presión a través del turboexpansor (64) y un mayor ritmo de producción del producto líquido, un ramal (38) de desvío, que elude el compresor (42) aumentador de presión para obtener así una relación de baja presión a través del turboexpansor (64) y un menor ritmo de producción del producto líquido; un ramal (44) de recirculación que conecta una salida del compresor (42) aumentador de presión a una entrada del compresor (42) aumentador de presión y conectado por extremos opuestos al ramal (40) del compresor aumentador de presión para el flujo de una corriente de recirculación desde la salida hasta la entrada del compresor (42) aumentador de presión para evitar así la sobrecarga dentro del compresor (42) aumentador de presión, y un sistema de válvulas para permitir la introducción selectiva de la corriente (28) de aire refrigerante comprimido bien en el ramal (40) del compresor aumentador de presión o en el ramal (44) de recirculación;

incluyendo el sistema de válvulas una primera válvula (48) de control del flujo situada dentro del ramal (40) del compresor aumentador de presión corriente arriba de la entrada del compresor (42) aumentador de presión, una segunda válvula (50) de control del flujo situada dentro del ramal (38) de desvío, una tercera válvula (56) situada en el ramal (44) de recirculación y dos válvulas situadas en el ramal (40) del compresor aumentador de presión y el ramal (38) de desvío colocadas respectivamente corriente abajo de la salida del compresor y del ramal (44) de recirculación y corriente arriba de la segunda válvula (50) de control y configuradas para evitar que el flujo retroceda en el ramal (40) del compresor aumentador de presión cuando la presión del ramal de desvío dentro del ramal (38) de desvío supera a la del ramal (40) del compresor aumentador de presión y que el flujo retroceda en el ramal (38) de desvío cuando la presión del ramal del compresor aumentador de presión en la salida del compresor (42) aumentador de presión supera a la del ramal (38) de desvío;

y un sistema (140) de control programable configurado para generar señales de control para controlar la apertura de la válvula de la primera válvula (48) de control del flujo, la segunda válvula (50) de control del flujo y la tercera válvula (56) y para activar el compresor (42) aumentador de presión y que responde a la entrada selectiva de un usuario para introducir selectivamente la corriente (28) de aire refrigerante comprimido en el ramal (40) del compresor aumentador de presión y el ramal (38) de desvío, programándose el sistema (140) de control programable de tal manera que:

cuando se introduce la corriente (28) de aire refrigerante comprimido en el ramal (40) del compresor aumentador de presión, la primera válvula (48) de control del flujo se abre gradualmente y la segunda válvula (50) de control del flujo se cierra gradualmente para desviar gradualmente la corriente (28) de aire refrigerante comprimido del ramal (38) de desvío al ramal (40) del compresor aumentador de presión e introducir así la corriente (28) de aire refrigerante comprimido en el ramal (40) del compresor aumentador de presión, el compresor (42) aumentador de presión se activa, la tercera válvula (56) inicialmente se pone en una posición abierta para permitir el flujo de la corriente de recirculación y, a continuación, se vuelve a poner de una posición abierta a una posición cerrada cuando la presión del compresor aumentador de presión supera la presión de desvío; y

cuando la corriente (28) de refrigerante comprimido se introduce en el ramal (38) de desvío, la primera válvula (48) de control del flujo se cierra gradualmente y la segunda válvula (50) de control del flujo se abre gradualmente para desviar gradualmente la corriente (28) de aire refrigerante comprimido desde el ramal (40) del compresor aumentador de presión hasta el ramal (38) de desvío e introducir así la corriente de aire refrigerante comprimido en el ramal (38) de desvío, la tercera válvula (56) se vuelve a poner de la posición cerrada a la posición abierta y el compresor (42) aumentador de presión se desactiva y se pone en un modo de funcionamiento de baja presión en el

que se reduce la energía y el compresor (42) aumentador de presión funciona a una presión de entrada muy baja y a un caudal másico reducido cuando la presión del desvío supera la presión del ramal del compresor aumentador de presión;

5 en donde el turboexpansor (64) trabaja con una eficiencia no óptima durante la producción alta de líquido o la producción baja de líquido.

12. El aparato de la reivindicación 11, en donde:

10 el turboexpansor (64) se puede colocar entre una ubicación de un intercambiador (2) de calor principal que tenga una temperatura intermedia entre los extremos caliente y frío del mismo y el sistema (3) de columnas de destilación; y  
 15 el circuito (34) de flujo ramificado se coloca entre la unidad (16) de purificación previa y el intercambiador (2) de calor principal corriente arriba del turboexpansor (64) para recibir una corriente de aire refrigerante comprimido.

13. El aparato de la reivindicación 11, en donde el circuito (34) de flujo ramificado tiene medios para hacer pasar una corriente de aire de purga, compuesta de aire purificado, a través del compresor (42) aumentador de presión después de que el compresor aumentador de presión esté desactivado para evitar que entre aire ambiente en el compresor aumentador de presión.

14. El aparato de la reivindicación 11, en donde:

25 un conducto que tiene una salida intermedia conecta el sistema (3) de columnas de destilación al intercambiador (2) de calor principal de manera que una corriente (128) de líquido se retire del sistema (3) de columnas de destilación, y se divida en una primera corriente secundaria (130) de líquido descargada desde la salida intermedia y una segunda corriente secundaria (132) de líquido introducida en el intercambiador (2) de calor principal;  
 30 el al menos un producto líquido comprende la primera corriente secundaria (130) de líquido; la al menos una válvula de control del flujo de líquido está conectada a la salida intermedia; el intercambiador (2) de calor principal está configurado para calentar la segunda corriente secundaria (130) de líquido para formar una corriente (136) de producto caliente; y  
 35 el compresor (2) de aire principal tiene álabes guía de entrada que pueden ajustarse para controlar el caudal del aire a través del compresor (2) de aire principal y de este modo disminuir el caudal de aire durante el modo de producción baja para mantener a su vez constante el caudal de producto de la corriente de producto caliente.

15. El aparato de la reivindicación 14, en donde:

40 el sistema (3) de columnas de destilación comprende una columna (70) de alta presión y una columna (72) de baja presión que funciona a una presión más baja que la columna (70) de alta presión, configurada para refinar más los fondos (90) de una columna de oxígeno líquido crudo producidos en la columna (70) de alta presión y conectada a la columna (70) de alta presión en una relación de transferencia de calor de manera que una cabeza (88) de la columna de vapor rico en nitrógeno producido en la columna (70) de alta presión se condense a través del intercambio de calor indirecto con un líquido rico en oxígeno producido en la columna (72) de baja presión, proporcionando así un reflujo de nitrógeno líquido a la columna (70) de alta presión y la columna (72) de baja presión;  
 45 la corriente de líquido es una corriente (128) de líquido rico en oxígeno compuesta de fondos de una columna de líquido rico en oxígeno producidos en la columna (72) de baja presión; la corriente (128) de líquido rico en oxígeno se divide en la primera corriente secundaria (130) de líquido y la segunda corriente secundaria (134) de líquido; una bomba (132) se coloca dentro del conducto para presurizar la segunda corriente secundaria de líquido y para producir de ese modo una corriente (134) de producto líquido presurizado que se calienta dentro del intercambiador (2) de calor principal para producir la corriente (136) de producto caliente;  
 50 se colocan medios (20, 30) para formar una corriente de aire comprimido adicional entre la unidad (16) de purificación previa y el intercambiador (2) de calor principal; el intercambiador (2) de calor principal está configurado para licuar la corriente de aire comprimido adicional y formar de ese modo una corriente de aire líquido;  
 55 el intercambiador (2) de calor principal está en comunicación de fluidos con al menos la columna (72) de baja presión para introducir al menos parte de una corriente de aire líquido en la columna (72) de baja presión; y  
 60

se coloca una válvula (82) de expansión entre el intercambiador (2) de calor principal y la columna (72) de baja presión para reducir la presión de al menos parte de la corriente de aire antes de la introducción a la columna (72) de baja presión.

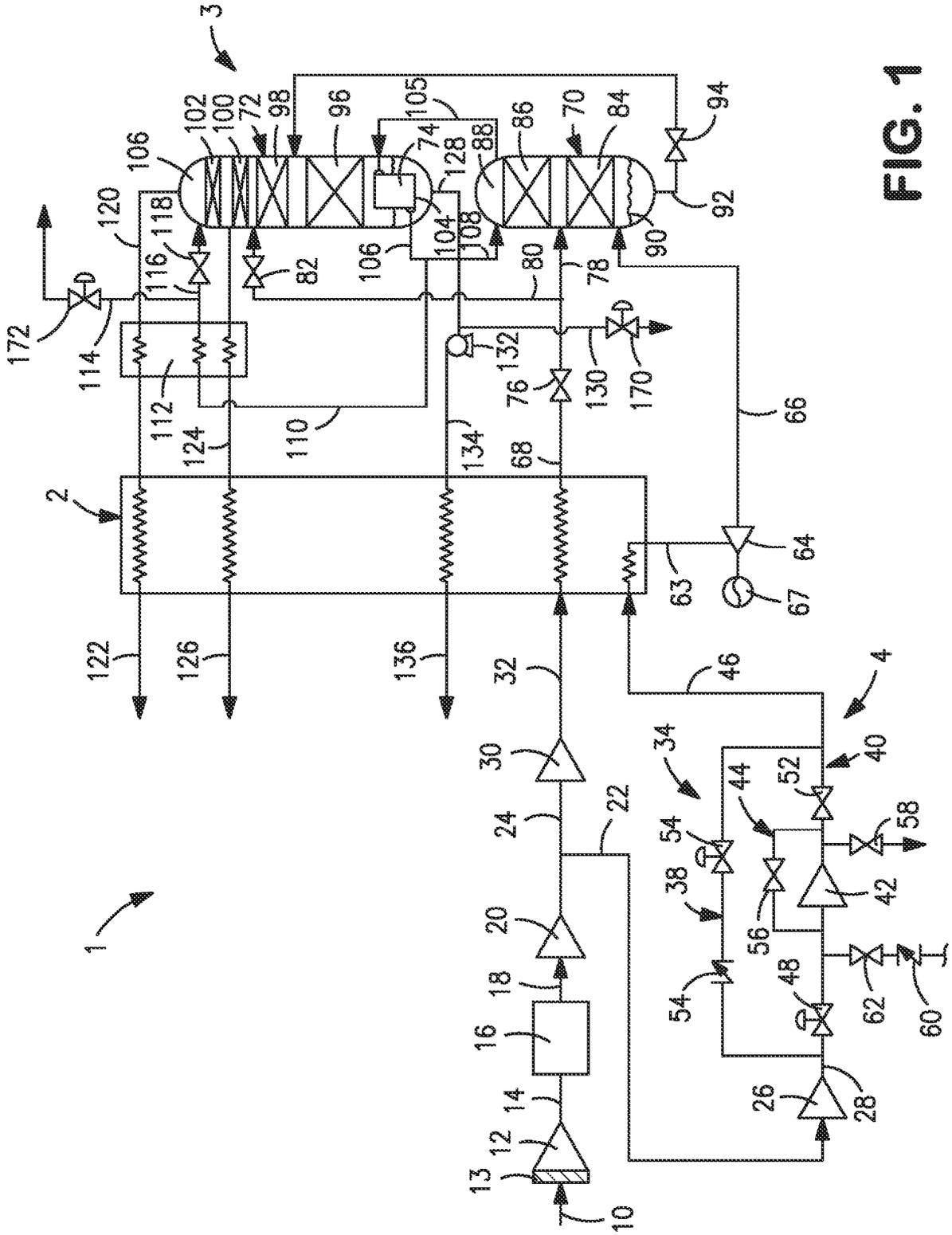


FIG. 1

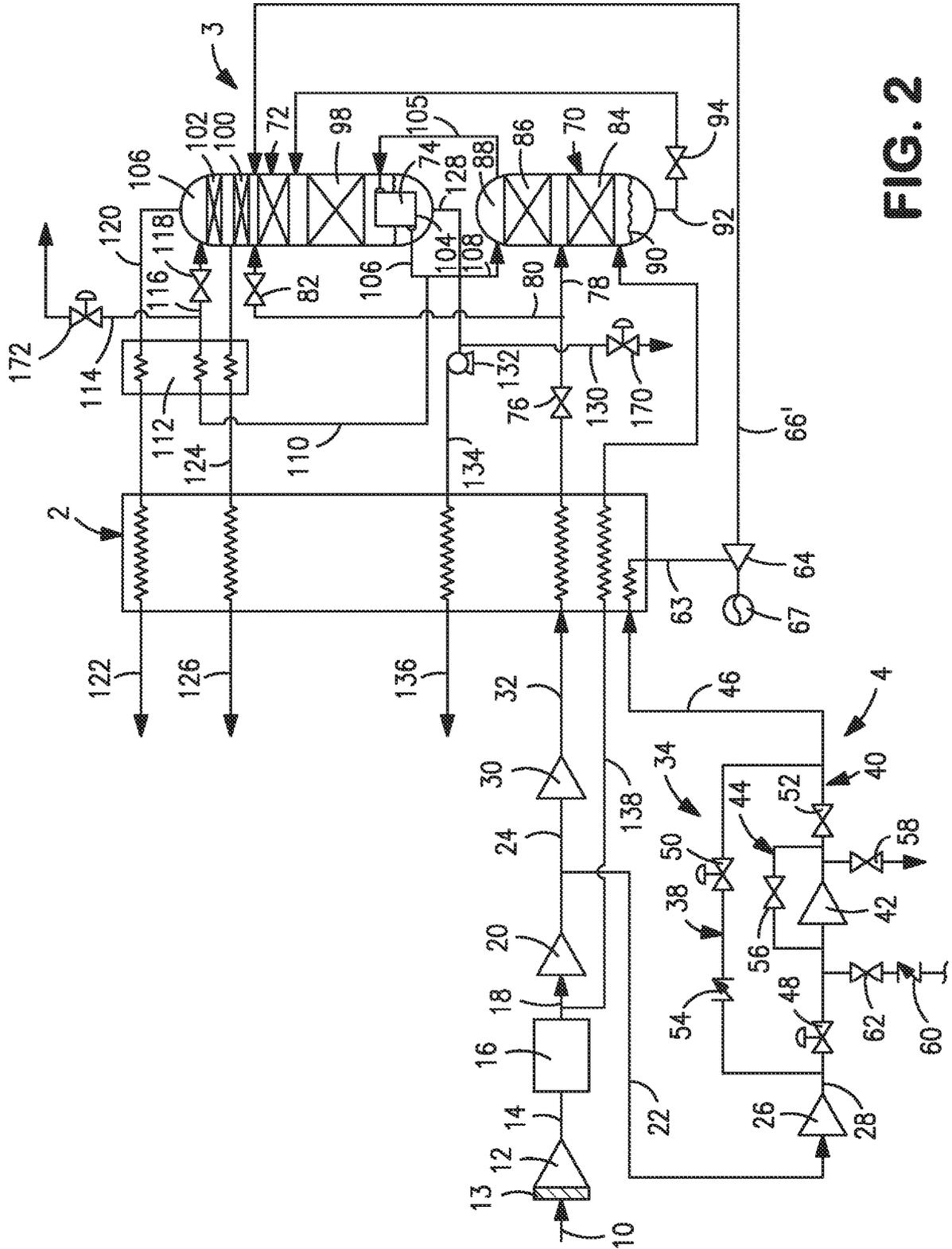
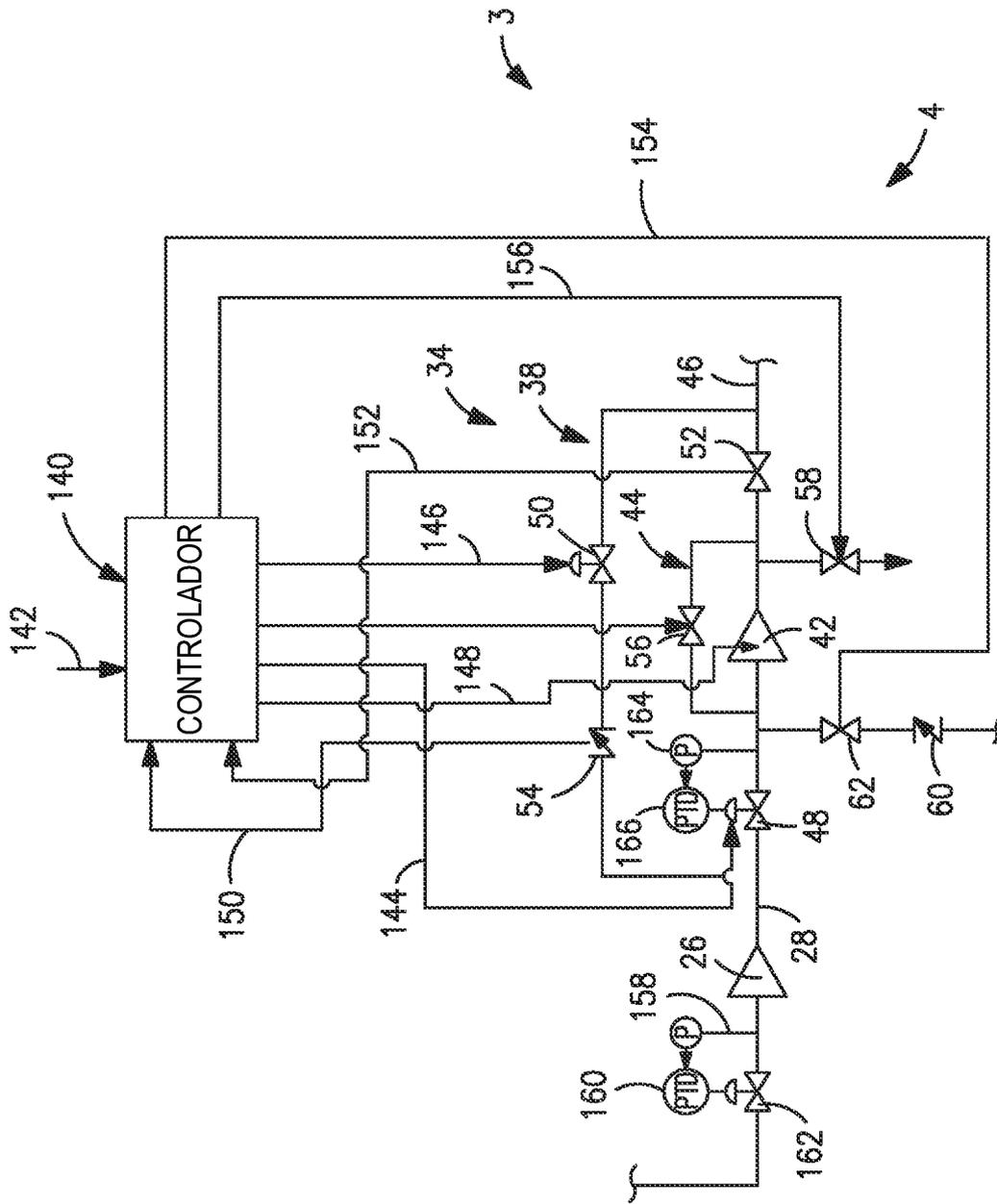
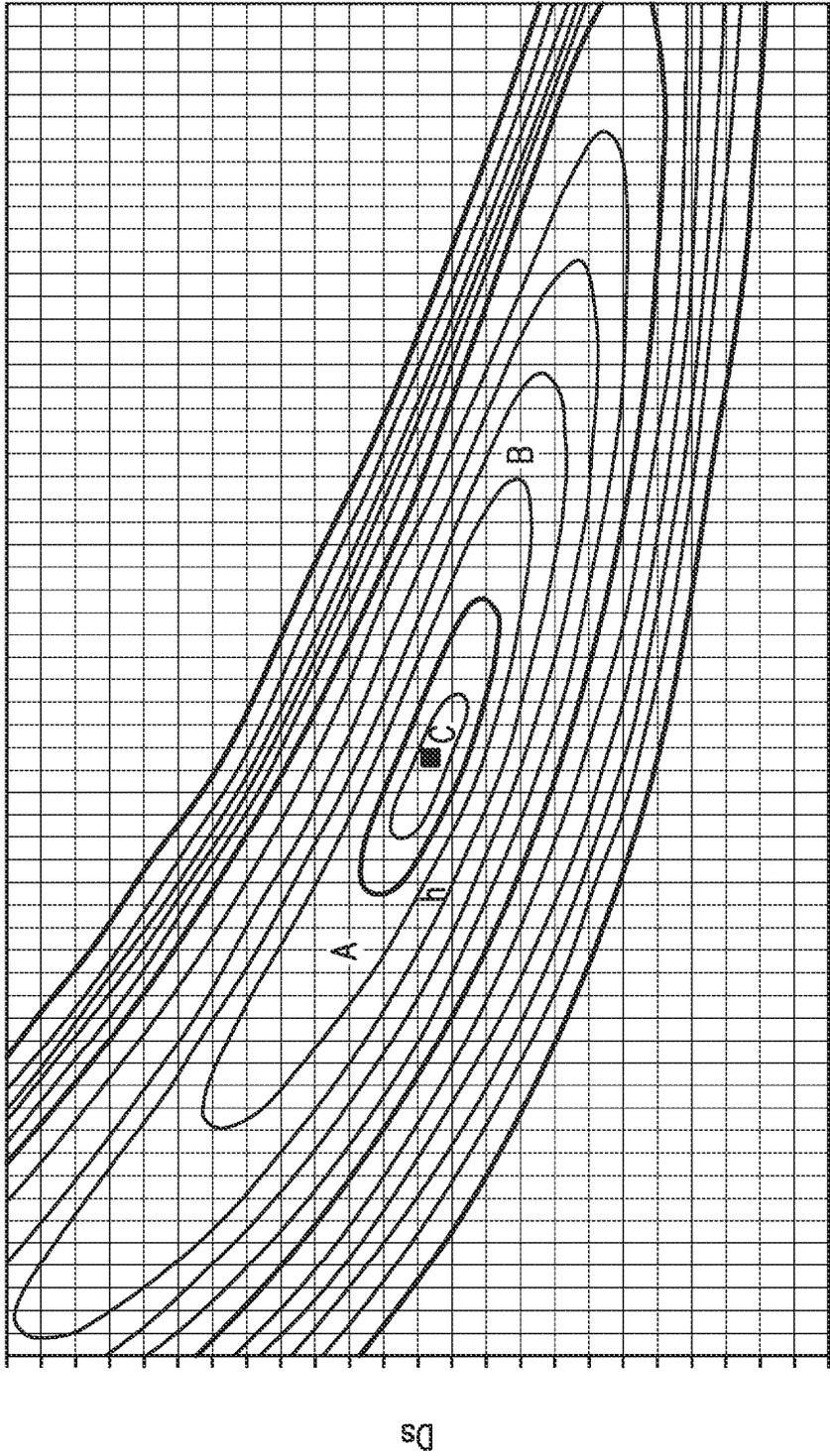


FIG. 2



**FIG. 3**



$N_s$

**FIG. 4**