

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 619 352**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.03.2010 PCT/US2010/027974**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.10.2010 WO2010114719**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2010 E 10719662 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016 EP 2414758**

54 Título: **Método y dispositivo para refrigeración**

30 Prioridad:

03.04.2009 US 418056

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

26.06.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**RAUCH, JEREMIAH, JAMES;
BAKER, ROBERT, LEROY;
O'CONNOR, GERALD, T.;
STANKO, MICHAEL, JOHN y
CHINTA, MURALI**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 619 352 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 dispositivo para refrigeración

5 Campo de la Invención

La presente invención se refiere a un método y aparato para la generación de refrigeración en un proceso que funciona a una temperatura por debajo de la ambiental en el que la refrigeración se genera mediante un turboexpansor y el trabajo de expansión se convierte en potencia eléctrica mediante un generador de velocidad variable acoplado al turboexpansor. Más particularmente, la presente invención se refiere a dicho método y sistema en el que un controlador auxiliar calcula una velocidad eficiente para el turboexpansor y dicha velocidad eficiente sirve como una entrada a un controlador de velocidad asociado con el generador de velocidad variable para controlar la velocidad del generador y por lo tanto del turboexpansor mediante frenado electromagnético.

15 Antecedentes de la Invención

La refrigeración se genera en aparatos de temperatura por debajo de la ambiental tales como plantas de separación de aire y licuefactores para producir las temperaturas por debajo de la ambiental necesarias para la operación de dichos aparatos. La refrigeración se genera mediante la expansión de una corriente comprimida a una presión más baja con la realización de trabajo para generar una corriente de escape fría que se usa para transmitir la refrigeración al interior del aparato. El trabajo de expansión debe extraerse del aparato y esto se realiza a través de la generación de calor en un mecanismo de freno de aceite que se disipa al exterior del aparato, a través de la carga aplicada por un compresor o por un generador eléctrico para generar electricidad que puede venderse a la red eléctrica para disminuir los costes de la energía en hacer funcionar la planta.

Por ejemplo, en una planta de separación de aire se comprime y purifica el aire para producir una corriente comprimida. Parte de la corriente comprimida se introduce en un intercambiador de calor y se enfría a una temperatura adecuada para su rectificación dentro de una o más columnas de destilación para producir nitrógeno y posiblemente también, corrientes de producto oxígeno y argón. Donde se desee corrientes de producto tanto de nitrógeno como de oxígeno, el aire comprimido y purificado se introduce en una unidad de doble columna que tiene una columna de destilación de alta presión para separar el nitrógeno del aire y de ese modo producir unos fondos de columna de oxígeno líquido crudo, también conocidos como líquido de hervidor. Una corriente del líquido de fondos se refina adicionalmente en la columna de baja presión para producir unos fondos de columna líquida ricos en oxígeno a partir de los que se toma el producto oxígeno y una columna de vapor rica en nitrógeno por encima. La columna de destilación de alta presión produce también una columna de vapor rica en nitrógeno por encima que al menos en parte se condensa a través de intercambio de calor indirecto con los fondos de columna de líquido rico en oxígeno en la columna de baja presión para producir un reflujo de nitrógeno líquido para las columnas tanto de alta como de baja presión. El producto nitrógeno se toma desde el vapor rico en nitrógeno producido en la columna de baja presión, la columna de alta presión o ambas o, también, desde parte del líquido rico en nitrógeno condensado.

En una planta de separación de aire, el vapor rico en nitrógeno desde la columna de baja presión y líquido rico en oxígeno se introducen junto con otras corrientes dentro del extremo frío del intercambiador de calor principal para ayudar a enfriar el aire y para su descarga como productos nitrógeno y oxígeno. Sin embargo, en la descarga de dichos productos hay pérdidas térmicas en el extremo caliente del intercambiador de calor principal así como fugas de calor al interior de una contención aislada conocida como una caja fría que se usa para alojar las columnas de destilación. Para compensar dichas fugas de calor y pérdidas térmicas, se genera refrigeración mediante la compresión adicional de otra parte del aire comprimido y purificado, enfriando parcialmente dicho aire en el intercambiador de calor principal e introduciendo a continuación el aire comprimido y parcialmente enfriado dentro de un turboexpansor. El turboexpansor puede acoplarse o bien al compresor elevador o bien puede usarse para accionar el generador. En plantas de separación de aire que están diseñadas para producir un producto oxígeno gaseoso a alta presión, se bombea una corriente de líquido rico en oxígeno desde la columna de baja presión y dicha corriente se calienta dentro del intercambiador de calor principal para producir el producto oxígeno gaseoso a alta presión. Para calentar dicha corriente en el intercambiador de calor principal, una parte adicional más del aire se comprime adicionalmente y a continuación se enfría dentro del intercambiador de calor principal. Dicho aire, después del enfriamiento, puede introducirse también dentro de la turbina conocida como un expansor de líquido para generar más refrigeración. Esta turbina puede acoplarse a un generador de energía eléctrica.

En una licuadora, en la que se licua un gas, por ejemplo un gas atmosférico o gas natural, se comprime y enfría una corriente de gas entrante en un intercambiador de calor a un estado líquido o en dos fases, que se separan en un vapor que se recicla y el producto líquido de la planta. Parte de la corriente comprimida se comprime adicionalmente y se expande en un turboexpansor o potencialmente una serie de turboexpansores que funcionan a niveles de temperatura sucesivamente más baja para producir corrientes de escape que se recirculan en el intercambiador de calor para enfriar el gas entrante a ser licuado. Los turboexpansores pueden acoplarse a compresores elevadores, mecanismos de freno de aceite o generadores eléctricos. Hay muchos tipos diferentes empleados con respecto a licuefactores y lo anterior representa en general uno de dichos ciclos.

En expansores usados para finalidades tales como las explicadas anteriormente, el expansor tiene una disposición

de entrada de flujo radial en la que la corriente comprimida entrante se dirige mediante toberas a un impulsor que puede acoplarse a un generador para la generación de energía eléctrica. En situaciones en las que el turboexpansor se acopla a un generador eléctrico, típicamente, se usa un motor de inducción de corriente alterna como el generador. Como puede apreciarse, para suministrar energía eléctrica a una red eléctrica, la electricidad debe generarse a una tensión ligeramente por encima de la red para impulsar la energía generada al interior de la red y a la frecuencia de la línea empleada en la red, por ejemplo 60 hercios. Mediante el uso de un motor como generador que está diseñado para funcionar a 60 hercios, la aplicación de dicha tecnología se hace muy directa. Un problema, sin embargo, es que el motor-generador está diseñado para funcionar a una velocidad nominal máxima de 3600 rpm basándose en una frecuencia de línea de 60 hercios y el turboexpansor está diseñado para funcionar a velocidades mucho más altas, típicamente entre 20.000 y 40.000 rpm. Por ello, debe usarse una transmisión de engranajes compleja que inherentemente producirá pérdidas irreversibles como calor entre el turboexpansor y el generador. Adicionalmente, dado que la velocidad del generador está restringida a 3600 rpm, la velocidad del turboexpansor está también restringida. Cualquier turbomáquina tiene una eficiencia isoentrópica específica que se relaciona con la energía del flujo que pasa a través de dicha máquina y la velocidad del eje de la máquina. Más específicamente, para un turboexpansor dado, la eficiencia, o en otras palabras, el grado en el que se transmitirá la energía del flujo que pasa a través del turboexpansor, dependerá del caudal y de la caída de entropía en el flujo que pasa a través del turboexpansor y la velocidad del impulsor. En consecuencia, el engranaje entre el turboexpansor y el generador está diseñado para una velocidad operacional normal del turboexpansor que con dichas condiciones de operación normales del flujo, presión y temperatura del flujo, la eficiencia del turboexpansor estará en su máximo. Sin embargo, durante la bajada de carga de una planta de separación de aire o un licuefactor u otro aparato de temperatura inferior a la ambiental durante la que el aparato está operando a menos que las condiciones de diseño estándar, el turboexpansor está siendo restringido para funcionar en una forma eficiente para proporcionar la velocidad establecida a la transmisión de engranajes conectada al generador.

Son conocidos un método tal como se define en la parte de caracterización previa de la reivindicación 1 y un sistema de generación de refrigeración tal como se define en la parte de caracterización previa de la reivindicación 7 a partir del documento US 5 758 515 A1.

A partir el documento US 6 382 910 B1 es conocida la utilización de un motor generador de inducción como un dispositivo de frenado en un turboexpansor.

Recientemente, se han desarrollado motores de alta velocidad que tienen unidades de accionamiento electrónico sofisticadas que permiten que el motor funcione a cualquier velocidad y, específicamente, en regímenes de velocidad que son los mismos en los que se opera un turboexpansor de un dispositivo a temperaturas por debajo de la ambiental. Se ha descubierto por los inventores de la presente memoria que los sofisticados accionadores electrónicos y dichos motores de alta velocidad en particular, pueden usarse en sistemas de refrigeración que se emplean en aparatos de temperatura por debajo de la ambiental, tal como se ha explicado anteriormente, en una forma tal que obviarán los problemas de la técnica anterior expuestos anteriormente.

Compendio de la Invención

La presente invención, en un aspecto, proporciona un método de generación de refrigeración en un proceso que funciona a temperaturas por debajo de la ambiental. Tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones, el término "proceso" significa cualquier aparato o sistema de equipos que está diseñado para procesar un fluido de proceso, por ejemplo aire, a temperaturas por debajo de la ambiental mediante la adición de refrigeración generada en todo o en parte por un turboexpansor. De acuerdo con el método, una corriente de proceso, utilizada dentro del proceso, se comprime para producir una corriente de proceso comprimida. La corriente de proceso comprimida se expande dentro de un turboexpansor que tiene un impulsor que es accionado por la corriente de proceso con la realización de trabajo, produciendo de ese modo una corriente de escape. El turboexpansor está diseñado para funcionar con un parámetro de eficiencia operacional igual a un valor óptimo de U/C_0 . La corriente de escape se introduce para transmitir la refrigeración al interior del proceso. Se genera energía eléctrica en un generador que tenga un rotor acoplado al impulsor de modo que el generador sea accionado por el trabajo de expansión.

Se controla la velocidad del rotor del generador y, por lo tanto, se controla también la velocidad del turboexpansor por medio de un frenado electromagnético del rotor de modo que la velocidad se mantenga en un punto de consigna y la salida de corriente eléctrica del generador aumente a medida que disminuye la velocidad del rotor y disminuya a medida que aumenta la velocidad del rotor. Ha de tomarse nota también aquí de que tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones, la expresión "frenado electromagnético" significa un contra-par o par de frenado producido en el rotor del generador como consecuencia de la corriente controlada en las bobinas del estátor empleado en el generador. Adicionalmente, se controlan la tensión y frecuencia de la potencia eléctrica generada por el generador de modo que se mantenga en niveles de adaptación a la línea y la energía eléctrica generada por el generador pueda introducirse en una red eléctrica local a los niveles de adaptación a la línea.

El punto de consigna de la velocidad del rotor se determina continuamente mediante el ajuste del punto de consigna igual al producto del parámetro de eficiencia operacional y una raíz cuadrada de dos veces la diferencia entre las

entalpías de la corriente de proceso al entrar en el turboexpansor y la corriente de escape al ser descargada desde el turboexpansor, dividida por un producto de pi y un diámetro del impulsor.

5 Por ello, la presente invención permite que el generador establezca la velocidad del turboexpansor que se basa en la caída de entalpía del flujo y del caudal del fluido de proceso que pasa a través del turboexpansor para obtener un parámetro de eficiencia operacional que producirá una operación del turboexpansor que es siempre la más eficiente para un conjunto dado de condiciones operacionales. Como resultado, el turboexpansor será óptimamente eficiente durante condiciones operacionales normales del proceso y durante condiciones de bajada de carga.

10 La diferencia entre las entalpías de la corriente de proceso comprimida y la corriente de escape puede determinarse proporcionando datos de entalpía para la corriente de proceso comprimida que se basan en la presión y temperatura de la corriente de proceso comprimida. Las entalpías pueden determinarse a su vez mediante la medición de un caudal de la corriente de proceso comprimida y la medición de la temperatura y presión de corriente de proceso de la corriente de proceso comprimida y la determinación de una entalpía de entrada a partir de los datos de entalpía, el caudal y la temperatura y presión de la corriente de proceso comprimida. De modo similar, pueden medirse una temperatura y presión de la corriente de escape desde la corriente de escape y puede determinarse una entalpía de escape de la corriente de escape a partir de los datos de entalpía, el caudal, la temperatura y presión de la corriente de escape. Posteriormente, es simplemente una cuestión de restar la entalpía de escape de la entalpía de entrada.

20 Preferentemente, el caudal se mide con un transductor de flujo que genera una señal de caudal que puede referirse al caudal y la temperatura y presión de la corriente de proceso comprimida y se miden la temperatura y presión de la corriente de escape con sensores de temperatura y transductores de presión que generan señales de temperatura y presión que pueden referirse a la temperatura y presión de la corriente de proceso comprimida y la temperatura y presión de la corriente de escape. Un controlador auxiliar, sensible a la señal de caudal, a las señales de temperatura y presión y que contiene los datos de entalpía en una base de datos, está configurado para determinar la entalpía de entrada, la entalpía de escape, la diferencia entre la entalpía de la corriente de entrada al proceso y la corriente de escape y la raíz cuadrada de dos veces la diferencia y para dividir la raíz cuadrada por pi multiplicado por el diámetro del impulsor con la finalidad de calcular el punto de consigna para la velocidad del rotor.

30 En otro aspecto, la presente invención proporciona un sistema de generación de refrigeración en un aparato que funciona a temperaturas por debajo de la ambiental. De acuerdo con este aspecto de la presente invención, se acciona un turboexpansor que tenga un impulsor mediante una corriente de proceso comprimida dentro del aparato de modo que la corriente de proceso comprimida se expande con la realización de trabajo y se produce por lo tanto una corriente de escape mediante el turboexpansor. El turboexpansor está diseñado para funcionar con un parámetro de eficiencia operacional igual al valor óptimo de U/C_0 . El turboexpansor se conecta al aparato de modo que la corriente de proceso se introduce dentro del turboexpansor y la corriente de escape se introduce dentro del aparato para transmitir la refrigeración al interior del aparato. Se proporciona un generador para generar energía eléctrica. El generador tiene un rotor acoplado al impulsor de modo que el generador es accionado por el trabajo de expansión. Un controlador del generador está conectado al generador y configurado para controlar la velocidad del rotor del generador y, por lo tanto, del turboexpansor a través del frenado electromagnético del rotor de modo que la velocidad se mantenga en un punto de consigna y la salida de corriente eléctrica del generador aumente a medida que disminuye la velocidad del rotor y disminuya a medida que aumenta la velocidad del rotor. El controlador del generador controla también la tensión y frecuencia de la potencia eléctrica generada por el generador de modo que se mantengan la tensión y la frecuencia en niveles de adaptación a la línea para permitir que la energía eléctrica generada por el generador se introduzca en una red eléctrica local a los niveles de adaptación a la línea.

50 Se posiciona un transductor de flujo aguas arriba del turboexpansor de modo que genera una señal de caudal que puede referirse a un caudal de la corriente de proceso comprimida. Adicionalmente, aguas arriba, un par de sensores de temperatura y transductores de presión posicionados aguas arriba del turboexpansor de modo que generen señales de temperatura y presión de la corriente de proceso que pueden referirse a la temperatura y presión de la corriente de proceso. Aguas abajo un par de transductores de temperatura y presión posicionados aguas abajo del turboexpansor de modo que generen señales de temperatura y presión de la corriente de escape que pueden referirse a la temperatura y presión de la corriente de escape. Se conecta un controlador auxiliar al controlador del generador y es sensible a la señal de caudal, y a las señales de temperatura y presión de la corriente de proceso y la corriente de escape. El controlador auxiliar contiene datos de entalpía de la corriente de proceso en una base de datos. El controlador auxiliar se programa para determinar continuamente una entalpía de entrada de la corriente de proceso comprimida y una entalpía de la corriente de escape de la corriente de proceso de escape mediante la aplicación del caudal, la temperatura y presión de la corriente de proceso y la temperatura y presión de la corriente de escape a los datos de entalpía. Dicho controlador se programa también para calcular dos veces una diferencia entre la entalpía de entrada y la entalpía de escape y una raíz cuadrada de la misma, y el punto de consigna para la velocidad del rotor mediante la multiplicación del parámetro de eficiencia operacional del turboexpansor por la raíz cuadrada y la división del producto por pi multiplicado por el diámetro del impulsor.

65 En ambos aspectos de la presente invención, el generador puede ser un generador de imanes permanentes acoplado directamente al impulsor del turboexpansor y la velocidad del rotor del generador y la potencia eléctrica se

controlan mediante una unidad de frecuencia variable para el generador de imanes permanentes al que puede proporcionarse una entrada para el punto de consigna. El uso de un generador de imanes permanentes es particularmente ventajoso porque elimina la necesidad de corrientes en el devanado del rotor inducidas o excitadas por separado, y las pérdidas inherentes a las mismas. Más aún, el uso de un generador acoplado directamente es también ventajoso porque elimina la transmisión entre el turboexpansor y el generador que en sí producen pérdidas irreversibles.

Adicionalmente, el proceso puede ser un proceso de separación de aire o el aparato puede ser una planta de separación criogénica de aire y, como tal, la corriente de proceso se compone de aire comprimido y purificado. La corriente de proceso se comprime en un compresor elevador para producir una corriente de proceso comprimida y la corriente de proceso comprimida se enfría al menos parcialmente dentro de un intercambiador de calor principal de la planta de separación de aire o, en otras palabras, al menos a la temperatura entre los extremos caliente y frío del intercambiador de calor principal. Después de haberse enfriado, al menos parcialmente, la corriente de proceso comprimida se introduce dentro del turboexpansor y se transmite la refrigeración al interior del proceso mediante la introducción de la corriente de escape al interior de al menos una de entre una columna de alta presión y una columna de baja presión usadas en la planta de separación criogénica de aire para destilar el aire en componentes ricos en oxígeno y ricos en nitrógeno. El aire comprimido y purificado puede enfriarse dentro del intercambiador de calor principal de modo que la corriente de escape esté en un estado líquido.

Breve descripción de los dibujos

Aunque la especificación concluye con reivindicaciones que puntualizan de modo diferenciado la materia objeto que los presentes Solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se entenderá con referencia a los dibujos adjuntos a continuación en los que:

La Figura 1 es un diagrama de flujo esquemático del proceso de una planta de separación de aire que incorpora la presente invención;

La Figura 2 es un mapa de eficiencia de un turboexpansor líquido usado en la planta de separación de aire ilustrada en la Figura 1;

La Figura 3 es un diagrama parcial, esquemático de un sistema de control que se usa en conexión con un generador de alta velocidad acoplado al turboexpansor empleado la Figura 1; y

La Figura 4 es un diagrama parcial, esquemático del generador de alta velocidad y turboexpansor empleados en la Figura 1.

Descripción detallada

Con referencia a la Figura 1, se ilustra una planta de separación 1 de aire que incorpora un sistema de refrigeración que incluye un turboexpansor 200 de líquido acoplado a un generador 202 que se controla de acuerdo con la presente invención como se explicará con mayor detalle a continuación. Se entiende, sin embargo, que tiene finalidades de ejemplo hasta el grado en que la invención sujeto tiene una aplicabilidad más amplia a otros tipos de procesos y aparatos que funcionan a temperaturas por debajo de la ambiental, por ejemplo licuefactores.

En la planta de separación de aire 1, una corriente de alimentación 10 que contiene oxígeno y nitrógeno, por ejemplo aire, se separa mediante un proceso de rectificación criogénica conocido para producir un producto de oxígeno gaseoso y líquido así como productos de nitrógeno gaseoso y líquido.

Se comprime una corriente de alimentación 10 dentro de un compresor 12 de carga base que puede ser un compresor de engranajes con enfriamiento intermedio, integral con eliminación del condensado. La corriente de alimentación 14 comprimida resultante, se purifica a continuación dentro de una unidad 16 de purificación previa. La unidad 16 de purificación previa es bien conocida en la técnica, contiene típicamente lechos de alúmina y/o un tamiz molecular que funciona de acuerdo con el ciclo de adsorción de oscilación de temperatura y/o presión en el que se adsorben las impurezas de ebullición más alta. Como es conocido en la técnica, esas impurezas de ebullición más alta son típicamente, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrocarburos. Mientras está operando un lecho, se regenera otro lecho, podrían usarse otros procesos tales como enfriamiento por agua en contacto directo, enfriamiento basado en refrigeración, contacto directo con agua helada y separación de fase.

Un intercambiador de calor 18 principal está en comunicación para fluidos con el compresor 12 de carga base. El intercambiador de calor 18 principal está configurado de modo que se enfríe una primera corriente comprimida 20 dentro del intercambiador de calor 18 principal y se enfríe parcialmente una segunda corriente comprimida 22 dentro del intercambiador de calor 18 principal. La primera corriente comprimida 20 y la segunda corriente comprimida 22 están compuestas de la corriente comprimida 14 de alimentación. En caso de aire, como se ha explicado anteriormente, la corriente comprimida 14 se purifica mediante la unidad 16 de purificación previa. Se entiende que el intercambiador de calor 18 principal, aunque se ilustra como una unidad simple, podría ser en realidad dos unidades en las que se proporciona un hervidor del producto separado para la ebullición del oxígeno líquido. Adicionalmente, el intercambiador de calor 18 principal podía dividirse adicionalmente en secciones en los extremos caliente y frío del mismo. De ese modo, la expresión "intercambiador de calor principal" tal como se usa en el presente documento y en las reivindicaciones engloba tanto una única unidad como un sistema de intercambiadores

de calor como es bien conocido en la técnica. Podrían usarse intercambiadores de calor de aletas de aluminio soldadas. Sin embargo, podrían usarse también otros diseños posibles conocidos en la técnica.

Tal como se explicará, el aparato 1 está diseñado para producir una corriente de oxígeno presurizada que se vaporizada dentro del intercambiador de calor principal. De ese modo, la primera y segunda corrientes comprimidas 20 y 22 se forman mediante la división de la corriente de alimentación 17 comprimida y purificada, descargada desde la unidad 16 de purificación previa, en una primera parte 30 y una parte restante 32. La primera parte 30 de la corriente 17 comprimida se comprime mediante un compresor elevador 36. Después de la eliminación del calor de la compresión por un pos-enfriador 38 la segunda corriente comprimida 22 resultante se extrae desde el intercambiador de calor 18 principal en un estado parcialmente enfriado, y se introduce dentro del turboexpansor 24 para producir una parte principal de los requisitos de refrigeración de la planta de separación de aire 1. En esta aplicación particular de la presente invención, sin embargo, el sistema de control de la misma no se aplica al turboexpansor 24, sino por el contrario al turboexpansor 200 de líquido, a ser explicado, que suministra refrigeración adicional. En la realización ilustrada, el turboexpansor 24 se acopla como compresor elevador 34. Hay ciclos de proceso para las plantas de separación de aire en las que un turboexpansor que expande un gas a ser introducido dentro de columnas de destilación se conecta a un generador para producir electricidad y la presente invención tendría aplicabilidad a dicho expansor. La segunda parte 32 de la corriente de alimentación 17 comprimida se comprime mediante un compresor hervidor 34 de producto que de nuevo, puede ser parte integral del compresor de engranajes con eliminación del condensado entre etapas.

El sistema 28 de columnas de destilación tiene una columna 54 de presión más alta y una columna 56 de presión más baja. La columna 54 de presión más alta se provee con elementos 58 y 60 de contacto de transferencia de masa y la columna 56 de presión más baja se provee con elementos 62, 64, 66 y 68 de contacto de transferencia de masa. La columna 54 de presión más alta y la columna 56 de presión más baja se denominan así porque la columna 54 de presión más alta funciona a una presión más alta que la columna 56 de presión más baja. Los elementos 58 a 68 de contacto de transferencia de masa pueden ser preferentemente rellenos estructurados u otros elementos conocidos tales como relleno de vertido o cribas o combinaciones de los mismos. Sin embargo, en ambas de dichas columnas, las fases de líquido y vapor de la mezcla contenida en la corriente 10 de alimentación se ponen en contacto dentro de dichos elementos y se produce una fase de vapor ascendente que se convierte en incluso más rica en el nitrógeno y una fase líquida que desciende que se convierte en incluso más rica en oxígeno. En la realización ilustrada, la corriente 26 de escape de turbina se introduce dentro de la base de la columna 54 de presión más alta para iniciar la formación de la fase de vapor ascendente.

La primera corriente comprimida 20, que está a una presión mucho más alta que ambas de entre la columna 54 de presión más alta y la columna 56 de presión más baja, y subenfriada después de pasar a través de un intercambiador de calor 18 principal, se expande a una presión de la columna de presión más alta por medio de un turboexpansor 200 de líquido acoplado a un generador 202 de velocidad variable que se controla mediante un sistema de control 204 a ser explicado con más detalle en el presente documento a continuación y controlado acuerdo con la presente invención. La corriente de escape 21 resultante se usa para transmitir refrigeración como una corriente de líquido que se expande a la presión de la columna 54 de presión más alta por medio de una válvula 70 de expansión y se divide en una primera parte 72 que se introduce dentro de la columna 54 de presión más alta y se rectifica, y una segunda parte 74 que se expande de nuevo en una válvula 76 de expansión hasta una presión adecuada para su introducción dentro de la columna 56 de presión más baja en donde dicha corriente también se rectifica. Se ha de tomar nota de que hay diseños de planta en los que todo el aire líquido se expande y se introduce o bien dentro de la columna de presión más alta o bien en la columna de presión más baja.

Dentro de la columna 54 de presión más alta, la destilación produce unos fondos 78 de columna de oxígeno líquido crudo. Una corriente 80 de los fondos 78 de la columna de oxígeno líquido crudo se expande en una válvula 82 de expansión y a continuación se introduce dentro de la columna 56 de presión más baja para refinado adicional. Dentro de la columna 56 de presión más baja, un líquido 84 rico en oxígeno se recoge como unos fondos de la columna. Adicionalmente, en la parte superior de la columna 54 de presión más alta, se recoge un vapor 86 rico en nitrógeno. La columna de presión más alta y la columna de presión más baja 54 y 56 están enlazadas a través de un rehervidor condensador 88. Una corriente del vapor 90 rico nitrógeno que se ha recogido dentro de la columna 54 de presión más alta se introduce dentro del rehervidor condensador 88 para producir una corriente 92 de líquido enriquecido en nitrógeno. Una parte 94 de la corriente 92 de líquido enriquecido en nitrógeno se introduce al menos parcialmente dentro de la parte superior de la columna 56 de presión más baja como reflujo para iniciar la formación de la fase líquida descendente. De modo similar, la otra parte 96 de la corriente 92 de líquido rico en nitrógeno se introduce dentro de la parte superior de la columna 54 de presión más alta para iniciar la formación de la fase de líquido descendente.

Se extrae una corriente 98 de líquido rico en oxígeno desde el fondo de la columna 56 de presión más baja y consiste en el líquido rico en oxígeno residual que no es vaporizado por el rehervidor condensador 88. Esta corriente de líquido rico en oxígeno se bombea mediante una bomba 100 para producir una corriente 102 de oxígeno líquido bombeado. Una parte 104 de la corriente 102 de oxígeno líquido bombeada forma la corriente del producto de oxígeno líquido. Una parte restante 106 se vaporiza dentro del intercambiador de calor 18 principal para producir una

corriente 108 del producto de oxígeno gaseoso. La vaporización se efectúa por la parte restante 32 de la corriente de alimentación 17 comprimida que se ha vuelto a comprimir dentro del compresor hervidor 34 del producto. De ese modo, se licuará una primera corriente comprimida 20 tras dicha vaporización.

5 La parte primera 94 de la corriente de líquido rica en nitrógeno se pasa a través de una unidad de subenfriamiento 110 y una parte 112 de la misma puede tomarse también como un producto líquido y una parte restante 114 puede introducirse dentro de la parte superior de la columna 68 de presión más baja como reflujo. El subenfriamiento se lleva a cabo mediante el paso de una corriente 116 de producto de nitrógeno gaseoso y una corriente 118 de nitrógeno de residuo en intercambio de calor indirecto con la primera parte 94 de la corriente 92 de líquido rico en nitrógeno. Esto produce una corriente 120 de nitrógeno gaseoso calentado y una corriente 122 de nitrógeno de residuo totalmente calentada.

15 Como se ha indicado anteriormente, la presente invención se aplica a la planta 1 de separación de aire en conexión con el turboexpansor 200 de líquido. El turboexpansor 200 de líquido es un tipo de expansor centrífugo que tiene paletas de guía de entrada, también conocidas en la técnica como toberas, que pueden posicionarse de modo selectivo. Aunque no es parte de la invención, las toberas podían establecer el control del caudal a través de la turbina debido a que dicho caudal impacta en el nivel de líquido en el intercambiador de calor principal de una planta de separación de aire o el intercambiador de calor del licuefactor para la turbina de líquido en un licuefactor. Por ejemplo, dado que el intercambiador de calor está aguas arriba de la turbina de líquido, si se abren las toberas, se permite que fluya más flujo fuera del intercambiador de calor, descendiendo nivel de líquido en el intercambiador de calor. Lo opuesto es verdad si las toberas se cierran. Es importante controlar el nivel de líquido en el intercambiador de calor debido a que impacta en las temperaturas de las otras corrientes del proceso que intercambian calor con la corriente del flujo de la turbina de líquido. Esto pueda realizarse automáticamente o a través de un control por realimentación.

25 El turboexpansor 200 de líquido, como en cualquier tipo de equipo rotativo, tiene una eficiencia que se relaciona con el grado en el que la potencia es capaz de ser transmitida a un eje de salida o a otro dispositivo conectado a un impulsor del mismo dada la energía total del flujo que sirve como una entrada al turboexpansor 200 de líquido menos la energía de la energía de su corriente de escape 21. Con referencia a la Figura 2, dicha eficiencia puede mapearse y presentarse en forma gráfica. En el gráfico, "D_s" es un diámetro específico que no es dimensional y es igual a un producto del diámetro real de la turbina por la caída de entalpía del flujo a través del turboexpansor 200 de líquido elevada a la potencia 1/4 dividida por la raíz cuadrada del flujo volumétrico. "N_s" es la velocidad específica y de nuevo es un factor no dimensional igual a un producto de la velocidad real del impulsor del turboexpansor 200 de líquido y la raíz cuadrada del flujo volumétrico a través del turboexpansor 200 de líquido dividido de nuevo por la pérdida de entalpía elevada a la potencia 1/4. Las líneas continuas son la línea de eficiencia de la eficiencia isoentrópica del turboexpansor 200 de líquido. Cada una de las líneas continuas limita áreas de eficiencia siempre creciente que se mueven hacia el centro del gráfico. Las líneas discontinuas son líneas de U/C₀ constante. U/C₀ viene dado por la ecuación: $U/C_0 = (\pi \times N \times D) / (2 \times \Delta h)^{0.5}$; en la que "π" = 3,14, etc., "N" es la velocidad del impulsor de, por ejemplo, el turboexpansor 200 de líquido, "D" es el diámetro del impulsor empleado en el turboexpansor 200 de líquido y "Δh" es la caída de entalpía tal como se mide entre la primera corriente comprimida 20 al entrar dentro del turboexpansor 200 de líquido y la corriente de escape 21 al ser descargada desde el turboexpansor 200 de líquido. Como es evidente, si se selecciona la línea discontinua "A" para la operación del turboexpansor 200 de líquido, entonces dicha línea de operación englobará siempre la eficiencia isoentrópica máxima del turboexpansor 200 de líquido. En este sentido, la línea discontinua "A" tiene un valor óptimo que se selecciona para pasar centralmente a través de una zona de eficiencia óptima o, en otras palabras, la línea de eficiencia más interior para el intervalo mayor de velocidad específica. De acuerdo con la presente invención, la velocidad del generador 202 se controla para controlar a su vez la velocidad del turboexpansor 200 de líquido mediante frenado electromagnético del rotor del generador 202 de modo que U/C₀ sea siempre controlada hasta un valor eficiente o 0,75 tras condiciones variables del flujo de la primera corriente 20 comprimida y corriente de escape 21. Esto se realiza mediante la resolución de la ecuación anteriormente mencionada para la velocidad "N" y dicha velocidad se imprime sobre la operación de un controlador del generador (a ser explicado), que se usa en conexión con el generador 202 y que tiene previsiones para el ajuste de un punto de consigna para la velocidad del generador 202.

55 Con referencia a la Figura 3, se ilustra el sistema de control 204. El sistema de control 204 incorpora un controlador 206 es auxiliar que usa el algoritmo para calcular una velocidad "N" basándose en un valor preestablecido de U/C₀ que representa un máximo de eficiencia operativa basándose en un mapa del rendimiento del turboexpansor mostrado la Figura 2 en el que se calcula la velocidad operacional deseada "N" del turboexpansor 200 de líquido basándose en $((U/C_0) \times (2 \times \Delta h)^{0.5}) / (\pi \times D)$. El término "Δh" que representa la caída en la entalpía entre la primera corriente comprimida 20 y la corriente de escape 21 se calcula mediante la medición del caudal, presión y temperatura de la primera corriente comprimida 20 aguas arriba del turboexpansor 200 de líquido mediante el transductor de flujo 208, transductor 210 de presión y transductor 212 de temperatura, respectivamente. Señales que pueden referirse al flujo, presión y temperatura que pueden estar en formato digital se introducen dentro del controlador auxiliar 206 como se ha indicado por las líneas 214, 216 y 218 de transmisión de datos. Aguas abajo del turboexpansor 200 de líquido, se mide la presión y temperatura de la corriente de escape 21 por los transductores

de presión y temperatura 220 y 222, respectivamente. Señales que pueden referirse a dichas presión y temperatura se introducen también dentro del controlador auxiliar 206 por medio de las líneas 224 y 226 de transmisión de datos. Los datos introducidos dentro del controlador auxiliar se aplican entonces a una base de datos de entalpía preprogramada dentro del controlador auxiliar 206 y la entalpía de salida de la corriente de escape 21 se resta de la entalpía de entrada de la primera corriente comprimida 20 para determinar " Δh ". El controlador auxiliar calcula entonces la velocidad mediante la ecuación mencionada anteriormente, el U/C_o y el "D" que se ha preprogramado dentro del controlador auxiliar 206. Se ha de tomar nota de que aunque convencional y no parte de la invención, se transmite una señal desde el transductor 220 de presión a través de la línea 228 de transmisión de datos al controlador 230 proporcional, integral y diferencial que tiene un punto de consigna "SP" de presión para la válvula de contrapresión 232. El controlador 230 reacciona a la presión medida por el transductor 220 de presión para fijar la contrapresión del turboexpansor 220 de líquido y de ese modo, fijar la presión de la corriente de escape 21. Como puede apreciarse, el controlador auxiliar 206 podría ser un ordenador personal o dispositivo similar programado para llevar a cabo los cálculos explicados anteriormente.

Una señal de salida 234 que puede referirse a la velocidad calculada por el controlador auxiliar 206 se introduce dentro del accionador 236 de frecuencia variable ("VFD") del generador 202 como un punto de consigna para la velocidad del generador 202. El accionador 236 de frecuencia variable, que actúa como un controlador de velocidad para el generador 202, se actualiza entonces con el punto de consigna de corriente o de velocidad calculado por el controlador auxiliar 206 y en el grado en que la velocidad del turboexpansor 200 de líquido esté por debajo o por encima de dicho punto de consigna, el generador 202 frenará mediante frenado electromagnético en un grado menor o mayor, respectivamente, el rotor del generador 202 y por lo tanto, el impulsor del turboexpansor 200 de líquido.

Con referencia a la Figura 4, se ilustra la conexión entre un impulsor 201 del turboexpansor 200 de líquido con el rotor 238 del generador 202. El generador 202 es preferentemente un motor de imanes permanentes que tiene cojinetes magnéticos. La importancia de esto es que los cojinetes libres de lubricación impiden pérdidas irreversibles debido a la disipación térmica que tendría lugar en caso contrario con cojinetes lubricados. El generador 202 incorpora el accionador 236 de frecuencia variable, explicado anteriormente, en el que puede fijarse un punto de consigna para la velocidad; lo que de acuerdo con la presente invención, es la velocidad calculada por el controlador auxiliar 206. Cuando se usa como un generador, el accionador 236 de velocidad variable también tiene otra función, concretamente mantener la tensión y frecuencia de la salida de potencia en un nivel preestablecido. En este sentido, el accionador 236 de frecuencia variable consiste en tres componentes básicos usados para hacer coincidir la velocidad variable del generador con la frecuencia fija de la red eléctrica; la sección de rectificador, el enlace en CC y la sección de inversor. Mediante la modificación del patrón de conmutación en la sección del inversor del accionador, se controla el nivel del flujo de potencia desde el enlace de CC a la red eléctrica, de modo que la tensión y frecuencia de salida puedan mantenerse en el nivel necesario para suministrar la potencia a la red. En este sentido, la tensión se mantiene ligeramente por encima de los niveles de la red eléctrica y la frecuencia se mantiene en un nivel igual al de la frecuencia de línea de la red eléctrica, por ejemplo, 60 hercios. Mediante el control del flujo de potencia, se controla la corriente al través del enlace de CC y en los devanados del estator del generador lo que a su vez controla el contra-par aplicado por el rotor del generador al turboexpansor y por lo tanto la velocidad del rotor. La velocidad del turboexpansor 200 de líquido se controla así mediante la conversión de eficiencia variable de velocidad mecánica y par en energía eléctrica.

El impulsor 201 se fija al rotor 238 por medio de un perno 240 de apriete roscado y una tuerca 242 de bloqueo. Un acoplamiento rígido 244 tal como un acoplamiento HIRTH, minimiza la contribución del conjunto axial al desequilibrado del rotor.

El rotor 238 aloja imanes permanentes 244, que debido a la rotación del rotor 238, generan una corriente eléctrica dentro de un conjunto de estator 246 fijo que rodea al rotor 238. El accionador 236 de velocidad variable en una forma expuesta anteriormente, genera la salida eléctrica 248 a partir de la corriente eléctrica inducida dentro del conjunto del estator 246 fijo en la forma expuesta anteriormente.

El rotor 238 se soporta mediante cojinetes magnéticos que consisten en cojinetes de empuje 250 y 252 en la dirección axial y cojinetes radiales 254 y 256 en la dirección radial. Sensores 258, 260 de desplazamiento del eje y 262 miden el movimiento del rotor 238. Las señales de salida, transmitidas mediante conexiones eléctricas 264, 266 y 268 desde los sensores 258, 260 y 262 de desplazamiento del eje, respectivamente, se transmiten a un controlador digital 270 para calcular corrientes de salida que se generan en el amplificador 272 de potencia que se aplican a través de conexiones eléctricas 274 y 276 a los cojinetes de empuje 250 y 252, respectivamente y conexiones eléctricas 278 y 280 a cojinetes radiales 254 y 256, respectivamente. La magnitud de las corrientes de salida se varía así por el controlador digital 270 para mantener el rotor 238 en una orientación radial y axial estable y con un mínimo de desplazamiento. Tras un fallo de la potencia, los cojinetes mecánicos secundarios 282 y 284 soportan el rotor 238. Además de lo anterior, un sellado de cara seca 286 impide la fuga de aire líquido a los cojinetes y al conjunto de estator 246 que se ha explicado anteriormente. El sello de cara seca 286 es convencional y el gas a alta presión desde la línea 288 y el gas a baja presión desde la línea 290 se suministran al sello de cara seca 286. El gas de sellado de alta presión se suministra a una presión más alta que la de la presión de entrada de

la primera corriente 20 de aire comprimido al turboexpansor 200 de líquido para impedir fugas del aire líquido. El gas de sellado de baja presión está a una presión más baja y sirve para asegurar que cualquier fuga del gas de sellado al rotor 238 y al conjunto de estátor 246 está a baja presión.

5 El generador 202 y el accionador 236 de frecuencia variable están disponibles de una variedad de fabricantes. Se ha de tomar nota, sin embargo, de que la presente invención también tiene aplicación como un generador de inducción de corriente alterna o cualquier otro tipo de motor o que pudiera usarse como un generador. En caso de un
10 generador de inducción de corriente alterna, el acoplamiento al turboexpansor podría realizarse mediante una transmisión de engranajes. En dicho caso podrían usarse circuitos electrónicos conocidos para efectuar el frenado electromagnético y el control de la tensión y frecuencia para mantenerlos en niveles de adaptación a la línea de la red eléctrica de potencia. Sin embargo, esto sería desventajoso porque habría pérdidas de potencia inherentes en dicho generador y pérdidas termo-mecánicas en la transmisión usada en conexión con dicho generador.

15 Aunque la presente invención se ha descrito con referencia a una realización preferida, tal como se les ocurrirá a los expertos en la técnica, pueden realizarse numerosos cambios, adiciones y omisiones sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se expone en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de generación de refrigeración en un proceso que funciona a temperaturas por debajo de la ambiental, comprendiendo dicho método:

5 comprimir una corriente de proceso (32) utilizada dentro del proceso para producir una corriente de proceso comprimida (20);
 expandir la corriente de proceso comprimida (20) dentro de un turboexpansor (200) que tiene un impulsor (201) que es accionado por la corriente de proceso con la realización de trabajo, produciendo de ese modo
 10 una corriente de escape (21);
 introducir la corriente de escape (21) dentro del proceso para transmitir la refrigeración al interior del proceso;
 generar energía eléctrica con un generador (202) que tiene un rotor (238) acoplado al impulsor (201) de modo que el generador es accionado por el trabajo de expansión;

15 **caracterizado por que**
 el turboexpansor (200) está diseñado para funcionar con un parámetro de eficiencia operacional igual al valor óptimo de U/C_o ; y
 comprendiendo dicho método adicionalmente:

20 controlar la velocidad del rotor (238) del generador (202) y, por lo tanto, del turboexpansor (200) por medio de un frenado electromagnético del rotor de modo que la velocidad se mantenga en un punto de consigna y la salida de corriente eléctrica del generador aumente a medida que disminuye la velocidad del rotor y disminuya a medida que aumenta la velocidad del rotor;
 controlar la tensión y la frecuencia de la potencia eléctrica generada por el generador (202) de modo que se
 25 mantenga en niveles de adaptación a la línea y la energía eléctrica generada por el generador pueda introducirse en una red eléctrica local a los niveles de adaptación a la línea; y
 determinar continuamente el punto de consigna de la velocidad del rotor (238) y, por lo tanto, del turboexpansor (200) mediante el ajuste del punto de consigna igual al producto del parámetro de eficiencia operacional y una raíz cuadrada de dos veces la diferencia entre las entalpías de la corriente de proceso comprimida al entrar en el turboexpansor y la corriente de escape al ser descargada desde el turboexpansor,
 30 dividido por un producto de pi y un diámetro del impulsor (201).

2. El método de la reivindicación 1, en donde el generador (202) es un generador de imanes permanentes acoplado directamente al impulsor (201) y se controlan la velocidad del rotor (238) del generador y la potencia eléctrica mediante un accionador (236) de frecuencia variable para el generador de imanes permanentes que tiene una entrada para el punto de consigna.

3. El método de la reivindicación 2, en donde la diferencia entre las entalpías de la corriente de proceso comprimida (20) y la corriente de escape (21) se determina mediante:

40 la provisión de datos de entalpía para la corriente de proceso comprimida basándose en la presión y temperatura de la corriente de proceso comprimida (20)
 la medición de un caudal de la corriente de proceso comprimida (20);
 la medición de una temperatura y presión de corriente de proceso de la corriente de proceso comprimida y la
 45 determinación de una entalpía de entrada a partir de los datos de entalpía, el caudal y la temperatura y presión de la corriente de proceso comprimida;
 la medición de una temperatura y presión de corriente de escape de la corriente de escape (21) y la determinación de una entalpía de escape de la corriente de escape a partir de los datos de entalpía, el caudal, la temperatura y presión de la corriente de escape; y
 50 la resta de la entalpía de escape de la entalpía de entrada.

4. El método de la reivindicación 3, en donde
 55 el caudal se mide con un transductor de flujo (208) que genera una señal de caudal que puede referirse al caudal;
 la temperatura y presión de la corriente de proceso comprimida y la temperatura y presión de la corriente de escape se miden con sensores de temperatura (212, 222) y transductores de presión (210, 220) que generan señales de temperatura y presión que pueden referirse a la temperatura y presión de la corriente de proceso comprimida y la temperatura y presión de la corriente de escape;
 60 un controlador auxiliar (206), sensible a la señal de caudal, a las señales de temperatura y presión y preprogramado con los datos de entalpía en una base de datos, está configurado para determinar la entalpía de entrada, la entalpía de escape, la diferencia entre la entalpía de la corriente de entrada de proceso (32) y la corriente de escape (21) y la raíz cuadrada de la misma de dos veces la diferencia, dividir dicha raíz cuadrada por pi y el diámetro del impulsor para calcular el punto de consigna de la velocidad del rotor (238).
 65

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

el proceso es una planta de separación criogénica de aire;
 la corriente de proceso se compone de aire comprimido y purificado;
 5 la corriente de proceso se comprime en un compresor elevador (34) para producir la corriente de proceso comprimida (20);
 la corriente de proceso comprimida (20) se enfría al menos parcialmente dentro de un intercambiador de calor (18) principal de la planta de separación de aire;
 10 la corriente de proceso comprimida (20) después de haber sido al menos parcialmente enfriada se introduce dentro del turboexpansor (200); y
 se transmite la refrigeración al proceso mediante la introducción de la corriente de escape (21) al interior de al menos una de entre una columna (54) de alta presión y una columna (56) de baja presión usadas en la planta de separación criogénica de aire para destilar el aire en componentes ricos en oxígeno y ricos en nitrógeno.

15 6. El método de la reivindicación 5, en donde el aire comprimido y purificado se enfría dentro del intercambiador de calor (18) principal y la corriente de escape (21) está en un estado líquido.

7. Un sistema de generación de refrigeración para un aparato que funciona a temperaturas por debajo de la ambiental, comprendiendo dicho sistema de generación de refrigeración:

20 un turboexpansor (200) que tiene un impulsor que es accionado mediante una corriente de proceso comprimida dentro del aparato de modo que la corriente de proceso comprimida (20) se expande con la realización de trabajo y se produce de ese modo una corriente de escape mediante el turboexpansor;
 el turboexpansor (200) conectado al aparato de modo que la corriente de proceso se introduce dentro del
 25 turboexpansor y la corriente de escape (21) se introduce dentro del aparato para transmitir la refrigeración al interior del aparato; y
 un generador (202) para generar energía eléctrica, teniendo el generador un rotor (238) acoplado al impulsor (201) de modo que el generador es accionado por el trabajo de expansión.

30 **caracterizado por**

el turboexpansor (200) que está diseñado para funcionar con un parámetro de eficiencia operacional igual al valor óptimo de U/C_o ;
 un controlador (236) del generador conectado al generador (202) y configurado para controlar la velocidad del
 35 rotor (238) del generador y, por lo tanto, del turboexpansor (200) a través del frenado electromagnético del rotor de modo que la velocidad se mantenga en un punto de consigna y la salida de corriente eléctrica del generador aumente a medida que disminuye la velocidad del rotor y disminuya a medida que aumenta la velocidad del rotor y para controlar la tensión y frecuencia de la potencia eléctrica generada por el generador de modo que se mantengan la tensión y la frecuencia en niveles de adaptación a la línea para permitir que la
 40 energía eléctrica generada por el generador se introduzca en una red eléctrica local a los niveles de adaptación a la línea;
 un transductor de flujo (208) posicionado aguas arriba del turboexpansor (200) de modo que genera una señal de caudal que puede referirse a un caudal de la corriente de proceso comprimida (20);
 un par de transductores (210, 212) aguas arriba de temperatura y presión posicionados aguas arriba del
 45 turboexpansor (200) de modo que generen señales de temperatura y presión de la corriente de proceso que pueden referirse a la temperatura y presión de la corriente (20) del proceso;
 un par de transductores (220, 222) aguas abajo de temperatura y presión posicionados aguas abajo del turboexpansor (200) de modo que generen señales de temperatura y presión de la corriente de escape que pueden referirse a la temperatura y presión de corriente de escape de la corriente de escape (21); y
 50 un controlador auxiliar (206) conectado al controlador (236) del generador, sensible a la señal de caudal, a las señales de temperatura y presión de la corriente de proceso y la corriente de escape y que contiene datos de entalpía de la corriente de proceso en una base de datos;
 el controlador auxiliar (206) programado para determinar continuamente una entalpía de entrada de la corriente de proceso comprimida (20) y una entalpía de la corriente de escape de la corriente de proceso de
 55 escape (21) mediante la aplicación del caudal, la temperatura y presión de la corriente de proceso y la temperatura y presión de la corriente de escape a los datos de entalpía, para calcular dos veces una diferencia entre la entalpía de entrada y la entalpía de escape y una raíz cuadrada de la misma, y el punto de consigna para la velocidad del rotor (238) mediante la multiplicación del parámetro de eficiencia operacional del turboexpansor (200) por la raíz cuadrada y la división del producto por pi multiplicado por el diámetro del
 60 impulsor (201).

8. El sistema de generación de refrigeración de la reivindicación 7, en donde el generador (202) es un generador de imanes permanentes acoplado directamente al impulsor (201) y el controlador (236) del generador es un accionador de frecuencia variable para el generador de imanes permanentes.

9. El sistema de generación de refrigeración de la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en donde:

el aparato es una planta de separación criogénica de aire;

la corriente de proceso está compuesta por aire comprimido y purificado;

5 la corriente de proceso (32) se comprime en un compresor elevador (34) para producir la corriente de proceso comprimida (20);

la corriente de proceso comprimida (20) se enfría al menos parcialmente dentro de un intercambiador de calor (18) principal de la planta de separación de aire;

10 la corriente de proceso comprimida (20) después de haber sido al menos parcialmente enfriada se introduce dentro del turboexpansor (200); y

se transmite la refrigeración al aparato mediante la introducción de la corriente de escape (21) dentro de al menos una de entre una columna (54) de alta presión y una columna (56) de baja presión usadas en la planta de separación criogénica de aire para destilar el aire en componentes ricos en oxígeno y nitrógeno.

15 10. El sistema de generación de refrigeración de la reivindicación 9, en donde el aire comprimido y purificado se enfría dentro del intercambiador de calor (18) principal y la corriente de escape (21) está en un estado líquido.

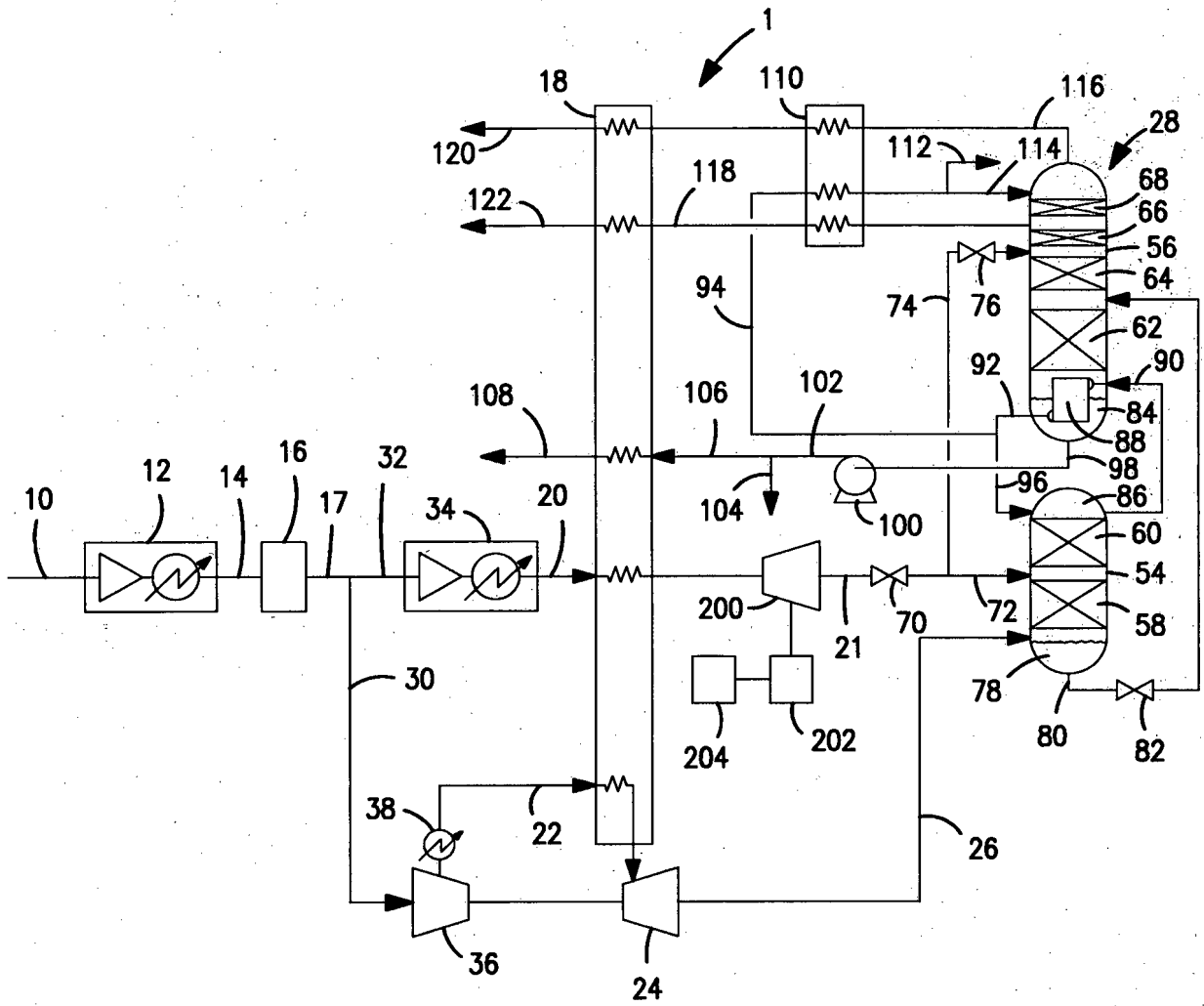


FIG. 1

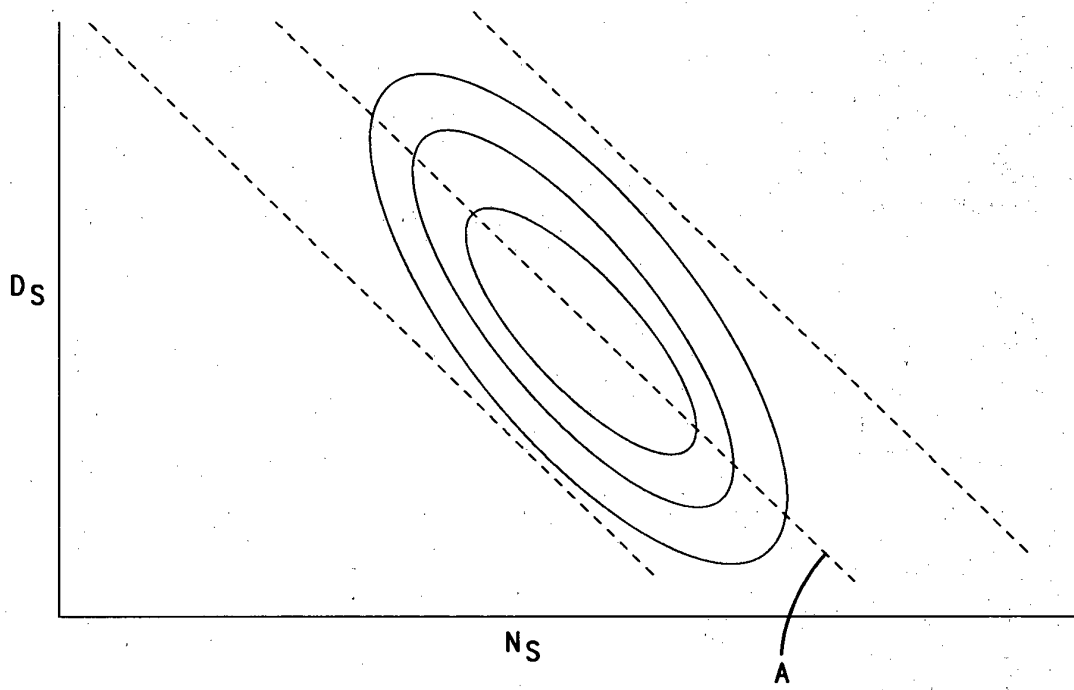


FIG. 2

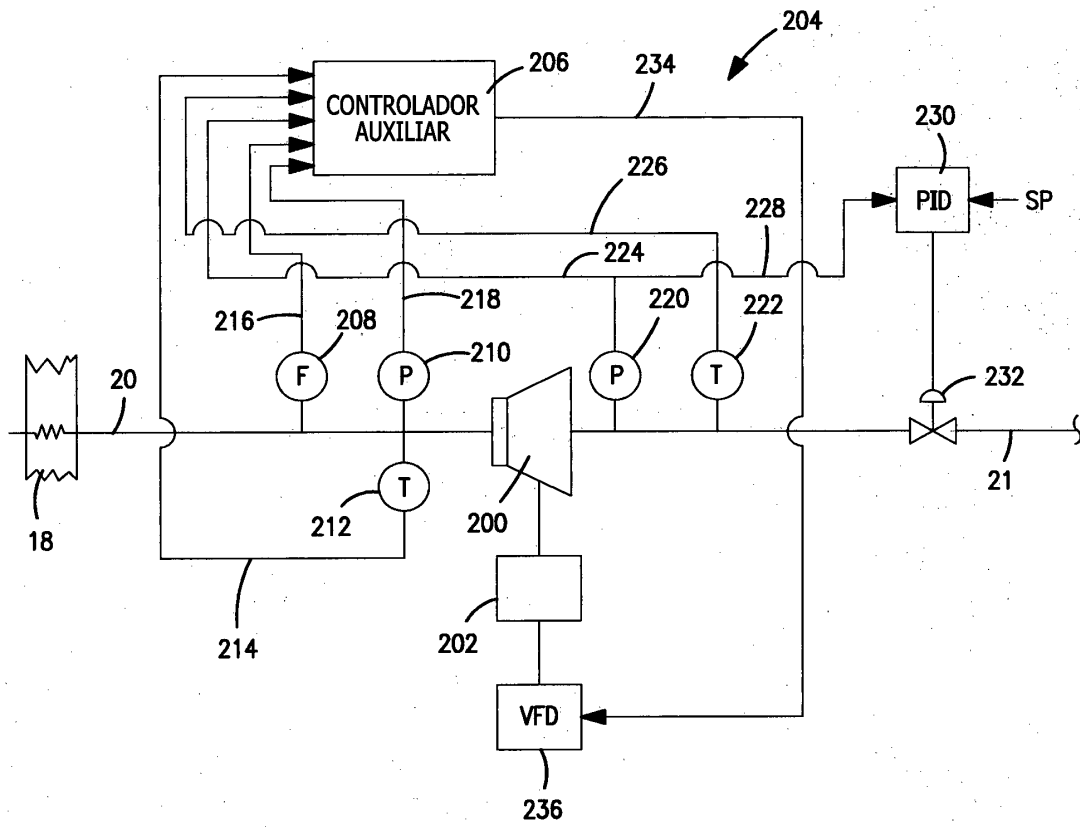


FIG. 3

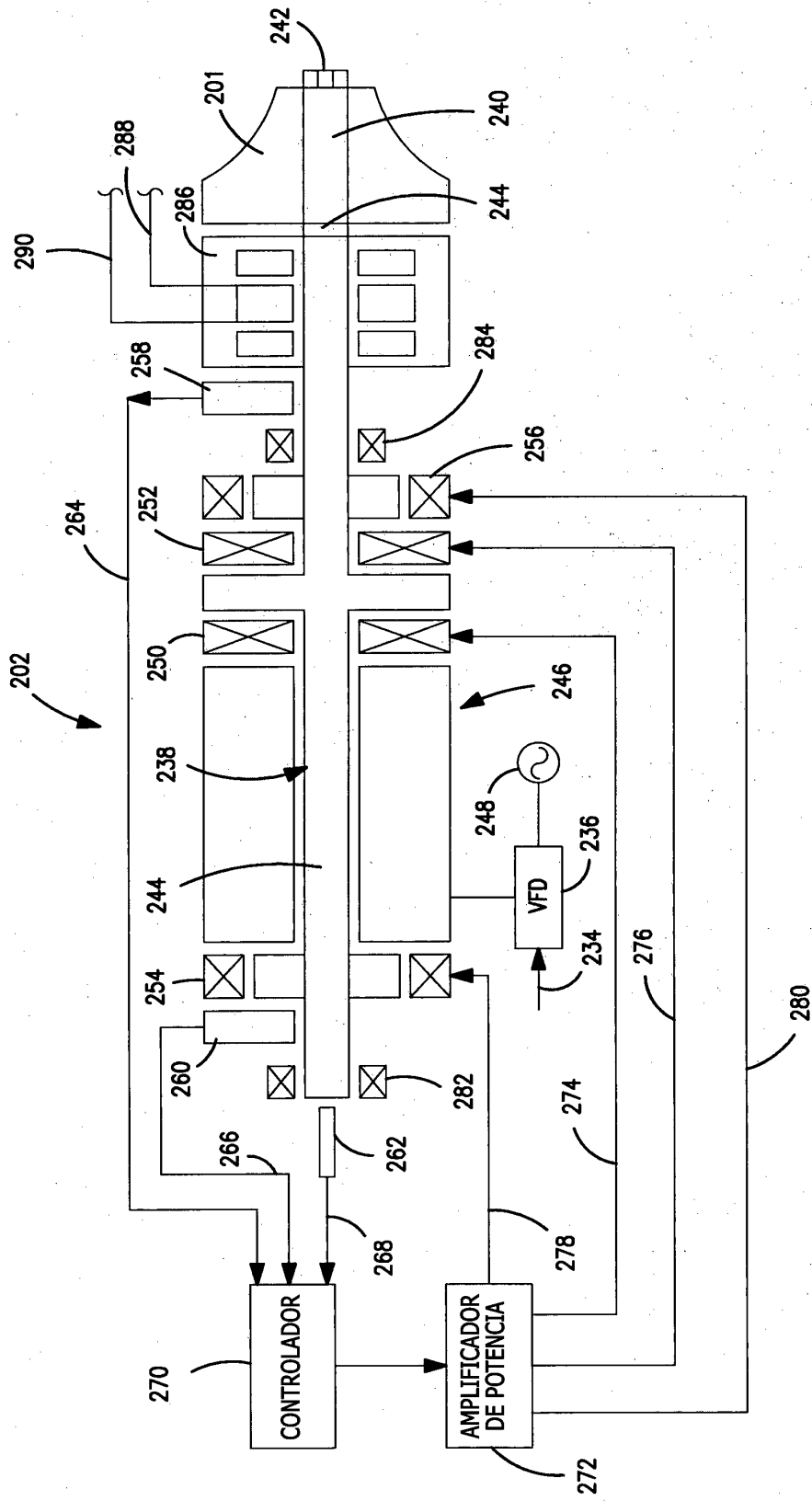


FIG. 4