

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 631**

51 Int. Cl.:

F25B 9/06 (2006.01)

F25B 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.03.2014 PCT/JP2014/057679**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.12.2014 WO14192382**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.03.2014 E 14804125 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017 EP 2940406**

54 Título: **Dispositivo de refrigeración de ciclo Brayton**

30 Prioridad:

31.05.2013 JP 2013116116

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

03.11.2017

73 Titular/es:

**MAYEKAWA MFG. CO., LTD. (100.0%)
14-15, Botan 3-chome
Koto-ku Tokyo 135-8482, JP**

72 Inventor/es:

**UEDA, SHOTA;
MACHIDA, AKITO;
KUDO, MIZUO y
NAKAMURA, NAOKO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 640 631 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

Dispositivo de refrigeración de ciclo Brayton

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton que es capaz de controlar la capacidad de enfriamiento contra un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado.

Un ciclo Brayton utilizado para un aparato de refrigeración es denominado "ciclo Brayton inverso" en contraste con el ciclo Brayton utilizado como un motor térmico. Sin embargo, en esta descripción, tal ciclo Brayton utilizado para un aparato de refrigeración será denominado simplemente como "ciclo Brayton" (véase "Handbook of Superconductivity and Cryogenic Engineering", 1993, Ohmsha, editado por la Asociación Criogénica de Japón).

10 Antecedentes

Como un tipo de los ciclos de refrigeración que utilizan una máquina de rotación tal como un compresor o un dispositivo de expansión, se conoce un aparato de refrigeración que utiliza el ciclo Brayton. Ejemplos de tal tipo de sistema de refrigeración incluyen un sistema de refrigeración que tiene una pluralidad de compresores o turbinas de expansión dispuestas en serie sobre un trayecto de circulación en el que fluye el refrigerante para comprimir o expandir el refrigerante en múltiples etapas por lo tanto para mejorar la capacidad de enfriamiento, como se ha descrito en los Documentos de Patente 1 a 3. Los Documentos de Patente 4 a 6 describen también antecedentes generales para ciclos de refrigeración.

Lista de citaciones

Literatura de patentes

20 Documento de Patente 1: JP 2003-148824 A

Documento de Patente 2: JP Hei9-329034 A

Documento de Patente 3: US 4 246 759

Documento de Patente 4: EP 2 211 124

Documento de Patente 5: JP 2012 251667

25 Documento de Patente 6: US 4 185 469

Compendio**Problema técnico**

30 En un aparato de refrigeración de tal tipo, cuando es cambiada la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado, la velocidad de rotación del compresor o del dispositivo de expansión es controlada para ajustar la capacidad de refrigeración según la carga de calor. Sin embargo, en el caso donde la capacidad de refrigeración es controlada por el control de velocidad de rotación, otros parámetros de control tales como el caudal del refrigerante, la relación de presión y temperatura pueden ser también cambiados con el cambio de velocidad de rotación. Por consiguiente, existe un problema tal que puede requerirse mucho tiempo hasta que la capacidad de refrigeración converja a un valor objetivo prescrito dependiendo de la carga de trabajo, y así es difícil obtener una buena respuesta.

35 Particularmente en el caso de utilizar múltiples etapas de máquinas de rotación como se ha descrito en los Documentos de Patente anteriores, si se intenta controlar las velocidades de rotación de los compresores respectivos, se aumentará el número de los parámetros de control que cambian según las velocidades de rotación, y así los problemas anteriores pueden volverse más significativos.

40 En el caso del ajuste de la capacidad de refrigeración mediante el control de velocidad de rotación, existe un problema tal que el coeficiente de rendimiento (COP) del refrigerador será disminuido debido a la reducción de la eficiencia adiabática del dispositivo de expansión. En una evaluación por los inventores presentes, han encontrado que cuando la velocidad de rotación es cambiada en alrededor del 10%, el COP es reducido en alrededor del 30%.

45 La presente invención ha sido hecha en vistas del problema anterior y para proporcionar un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton que utiliza múltiples etapas de compresores y que tiene una buena respuesta sin reducción de eficiencia debido al cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado.

Solución al problema

Con el fin de solucionar el problema anterior, un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton según la presente invención utiliza un ciclo Brayton que tiene múltiples etapas de compresores dispuestos en serie sobre una línea

refrigerante para generar calor o frío utilizando un refrigerante comprimido por los compresores para enfriar un refrigerante secundario, y comprende:

- un dispositivo de detección de carga de calor para detectar una carga de calor de un objeto que ha de ser enfriado;
- 5 un depósito de almacenamiento temporal previsto entre una tubería de baja presión en la cual fluye el refrigerante antes de ser comprimido por el compresor y una tubería de alta presión en la cual fluye el refrigerante después de ser comprimido por el compresor;
- una primera válvula prevista sobre un lado de entrada del depósito de almacenamiento temporal y capaz de controlar un caudal de entrada del refrigerante al depósito de almacenamiento temporal;
- 10 una segunda válvula prevista sobre un lado de salida del depósito de almacenamiento temporal y capaz de controlar un caudal de salida del refrigerante desde el depósito de almacenamiento temporal; y
- un dispositivo de control para controlar un grado de apertura de la primera válvula y un grado de apertura de la segunda válvula,
- 15 en donde el dispositivo de control es configurado, cuando se detecta un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado por el dispositivo de detección de carga de calor, para ajustar el grado de apertura de la primera válvula y el grado de apertura de la segunda válvula para cambiar un caudal del refrigerante que fluye en el ciclo Brayton.

Según la presente invención, cuando se detecta un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado, ajustando las aperturas de la primera válvula y de la segunda válvula para controlar el caudal del refrigerante que fluye en el ciclo Brayton, es posible ajustar la capacidad de refrigeración. En tal control del caudal del refrigerante, el caudal de masa es cambiado mientras el caudal de volumen es mantenido constante, por lo que se puede obtener una buena respuesta al cambio de carga de calor sin cambiar otros parámetros de control tales como la relación de presión o temperatura. En el control de caudal del refrigerante, se puede evitar, la reducción en la eficiencia adiabática del dispositivo de expansión, que puede ser causada en el control de velocidad de rotación convencional, por lo que es posible evitar la disminución del coeficiente de rendimiento.

Además, cuando el depósito de almacenamiento temporal está previsto entre la tubería de baja presión y la tubería de alta presión donde existe una diferencia de presión, abriendo o cerrando la primera válvula prevista sobre la tubería de alta presión, es posible introducir el refrigerante al depósito de almacenamiento temporal según la diferencia de presión entre el depósito de almacenamiento temporal y la tubería de alta presión. Por otro lado, mediante la apertura o cierre de la segunda válvula prevista sobre la tubería de baja presión, es posible descargar el refrigerante desde el depósito de almacenamiento temporal según la diferencia de presión entre el depósito de almacenamiento temporal y la tubería de baja presión. Por consiguiente, a través del control de caudal que utiliza un depósito de almacenamiento temporal, que no requiere fuente de alimentación desde el exterior, se puede obtener una excelente eficiencia energética.

El dispositivo de control está configurado además, cuando el caudal de cambio de la carga de calor detectada por el dispositivo de detección de carga de calor es mayor que un valor prescrito establecido de manera preliminar, para controlar al menos una velocidad de rotación de uno de los compresores y una velocidad de rotación de un dispositivo de expansión, y a continuación ajustar el grado de apertura de la primera válvula y el grado de apertura de la segunda válvula.

Según la realización anterior, en un caso donde aparece un cambio rápido en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado, la velocidad de rotación del compresor y del dispositivo de expansión es controlada antes del control de caudal del refrigerante mediante el ajuste del grado de apertura de las válvulas, por lo que se puede obtener una buena respuesta a un gran cambio en la carga de calor.

En una realización de la presente invención, la tubería de alta presión puede ser una tubería a la cual se descarga el refrigerante desde un compresor dispuesto en la posición más baja de la corriente entre los compresores, y la tubería de baja presión puede ser una tubería a través de la cual el refrigerante es suministrado a un compresor dispuesto en la posición más alta de la corriente entre los compresores.

Según esta realización, cuando puede ser asegurada una diferencia grande de presión entre la tubería de alta presión y la tubería de baja presión, abriendo/cerrando el control de la primera válvula y de la segunda válvula, es posible llevar a cabo fácilmente el control de caudal a través de la introducción o descarga del refrigerante desde el depósito de almacenamiento temporal.

En la realización anterior, el aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton puede comprender además un intercambiador de calor de recuperación de frío calor para intercambiar calor entre el refrigerante comprimido por los compresores y el refrigerante después de enfriar el objeto que ha de ser enfriado, y la tubería de alta presión puede tener una tubería de derivación derivada desde al menos una posición entre uno de los compresores y el

intercambiador de calor de recuperación de frío calor.

5 Según tal realización, utilizando el frío calor restante en el refrigerante después de enfriar el objeto que ha de ser enfriado por el intercambiador de calor de recuperación de frío calor, es posible enfriar previamente el refrigerante que tiene una temperatura elevada que ha de ser suministrado al dispositivo de expansión para mejorar la capacidad de refrigeración. En el caso donde el refrigerante es introducido al depósito de almacenamiento temporal para llevar a cabo el control de caudal, introduciendo el refrigerante al depósito de almacenamiento temporal desde una derivación desde el lado superior de la corriente del intercambiador de calor de recuperación de frío calor, es disminuido el caudal del refrigerante suministrado al intercambiador de calor de recuperación de frío calor, por lo que es posible enfriar el refrigerante mediante el intercambiador de calor de recuperación de frío calor de manera más eficiente.

10 En otra realización, una parte de enfriamiento del ciclo Brayton puede ser configurada para enfriar, por medio de un intercambiador de calor, un refrigerante secundario que circula a través del objeto que ha de ser enfriado, y el dispositivo de detección de carga de calor puede comprender un sensor de temperatura previsto sobre una tubería en la cual fluye el refrigerante secundario.

15 Según la realización anterior, el dispositivo de detección de carga de calor para detectar una carga de calor del objeto que ha de ser enfriado comprende un sensor de temperatura previsto sobre una tubería en la cual fluye el refrigerante secundario, por lo que es posible detectar rápidamente un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado, para obtener por tanto un aparato de refrigeración de ciclo Brayton excelente en capacidad de respuesta.

20 En otra realización, las múltiples etapas de compresores pueden comprender un primer compresor, un segundo compresor y un tercer compresor, dispuestos en serie en este orden desde el lado aguas arriba; el primer compresor y el segundo compresor pueden estar conectados a un árbol de salida de un primer motor eléctrico; y el tercer compresor y el dispositivo de expansión pueden estar conectados a un árbol de salida de un segundo motor eléctrico.

25 Según la realización anterior, el primer y el tercer compresores están dispuestos en serie en el trayecto de circulación para permitir la compresión en múltiples etapas. En particular, el primer compresor y el segundo compresor están conectados al árbol de salida del primer motor eléctrico, por lo que es posible simplificar la estructura en comparación con el caso donde se proporciona una fuente de energía para cada compresor. Además, el tercer compresor y el dispositivo de expansión están conectados al árbol de salida del segundo motor eléctrico, por lo que es posible simplificar la estructura, y además, la energía recuperada por el dispositivo de expansión contribuye a la energía de compresión del tercer compresor para mejorar la eficiencia.

Efectos ventajosos

35 Según la presente invención, cuando se detecta un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado, ajustando las aperturas de la primera válvula y de la segunda válvula para controlar el caudal del refrigerante que fluye en el ciclo Brayton, es posible ajustar la capacidad de refrigeración. En tal control del caudal del refrigerante, el caudal de masa es cambiado mientras el caudal de volumen es mantenido constante, por lo que se puede obtener una buena respuesta al cambio de carga de calor sin cambiar otros parámetros de control tales como la relación de presión o temperatura. En el control de caudal del refrigerante, se puede evitar, la reducción en la eficiencia adiabática del dispositivo de expansión, que puede ser causada en el control de velocidad de rotación convencional, por lo que es posible evitar la disminución en el coeficiente de rendimiento.

40 Además, cuando el depósito de almacenamiento temporal está previsto entre la tubería de baja presión y la tubería de alta presión donde existe una diferencia de presión, abriendo o cerrando la primera válvula prevista sobre la tubería de alta presión, es posible introducir el refrigerante al depósito de almacenamiento temporal según la diferencia de presión entre el depósito de almacenamiento temporal y la tubería de alta presión. Por otro lado, mediante la apertura o cierre de la segunda válvula prevista sobre la tubería de baja presión, es posible descargar el refrigerante desde el depósito de almacenamiento temporal según la diferencia de presión entre el depósito de almacenamiento temporal y la tubería de baja presión. Por consiguiente, a través del control de caudal que utiliza un depósito de almacenamiento temporal, que no requiere alimentación de corriente desde el exterior, se puede obtener una eficiencia energética excelente.

50 Breve descripción de los dibujos

La fig. 1 es un diagrama que ilustra esquemáticamente toda la construcción de un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton (en lo sucesivo denominado también como "aparato de refrigeración") de un ejemplo de la presente invención.

La fig. 2a y 2b es un diagrama T-S de un ciclo Brayton del aparato de refrigeración.

55 La fig. 3 es un gráfico que muestra la relación entre las relaciones de compresión y las relaciones del coeficiente de rendimiento del compresor del aparato de refrigeración del ejemplo.

La fig. 4 es un diagrama de flujo que muestra el flujo de control por el controlador en el momento del cambio en la carga de calor.

5 La fig. 5 es un gráfico que muestra la relación entre los valores detectados por un sensor de presión y la relación de eficiencia adiabática de cada uno de los compresores y del dispositivo de expansión del aparato de refrigeración del ejemplo.

La fig. 6 es un gráfico que muestra la relación entre los valores detectados por el sensor de presión y el coeficiente de rendimiento del aparato de refrigeración del ejemplo.

10 La fig. 7 es un gráfico que muestra la relación entre los valores detectados por el sensor de presión y la relación de eficiencia adiabática de cada compresor y del dispositivo de expansión de un aparato de refrigeración de un ejemplo comparativo.

La fig. 8 es un gráfico que muestra la relación entre los valores detectados por el sensor de presión y el coeficiente de rendimiento del aparato de refrigeración de un ejemplo comparativo.

Descripción detallada

15 Las realizaciones de la presente invención serán ahora descritas en detalle con referencia a los dibujos adjuntos. Está previsto sin embargo, que posiciones relativas, formas, materiales, dimensiones, y similares de componentes al menos particularmente especificados descritos en las realizaciones se interpretarán como ilustrativos solamente y no limitativos del alcance de la presente invención.

20 La fig. 1 es un diagrama que ilustra esquemáticamente toda la construcción de un aparato 100 de refrigeración de tipo de ciclo Brayton (en lo sucesivo denominado también como "aparato de refrigeración") de un ejemplo de la presente invención. La fig. 2a y 2b es un diagrama T-S de un ciclo Brayton del aparato 100 de refrigeración, donde el eje vertical muestra las temperaturas T [K] y las entropías horizontales S [KJ/kgK]. La fig. 2b es una vista agrandada del área encerrada mediante la línea discontinua en la fig. 2a.

25 El aparato 100 de refrigeración comprende, en un trayecto 101 de circulación en el cual fluye un refrigerante, un compresor 102 para comprimir el refrigerante, un intercambiador de calor 103 para enfriar el refrigerante comprimido por el compresor mediante intercambio de calor con agua de refrigeración, un dispositivo de expansión 104 para expandir el refrigerante, una parte de enfriamiento 105 que tiene un intercambiador de calor para intercambiar calor entre el refrigerante y un objeto que ha de ser enfriado, y un intercambiador de calor 106 de recuperación de frío calor para recuperar un frío calor del refrigerante, que están previstos en orden en el trayecto de circulación para formar un ciclo Brayton de un tipo de intercambiador de calor de flujo a contracorriente que utiliza un ciclo de refrigeración de un flujo de circulación constante.

30 El objeto que ha de ser enfriado mediante el aparato 100 de refrigeración es un dispositivo de superconducción (no mostrado) que utiliza un superconductor bajo una condición de temperatura muy baja. En el lado del dispositivo de superconducción como el objeto que ha de ser enfriado, se utiliza nitrógeno líquido como un refrigerante secundario que ha de ser sometido a intercambio de calor en la parte de enfriamiento 105 con el refrigerante utilizado en el aparato 100 de refrigeración (en la fig. 1, solamente se ha mostrado el trayecto 150 de circulación en el cual circula el nitrógeno líquido, que es el refrigerante en el objeto que ha de ser enfriado). El nitrógeno líquido que fluye en el trayecto 150 de circulación y que tiene una temperatura aumentada por la carga de calor del dispositivo de superconducción es enfriado por tanto mediante intercambio de calor con el refrigerante que fluye en el trayecto 101 de circulación enfriado por el aparato 100 de refrigeración.

35 En el trayecto 150 de circulación en el cual fluye el refrigerante secundario, está previsto un sensor de temperatura 160 como un dispositivo de detección de carga de calor para detectar una carga de calor del objeto que ha de ser enfriado.

40 Como el refrigerante en el trayecto 101 de circulación en el lado del aparato 100 de refrigeración, un tipo de gas puede ser seleccionado de manera adecuada dependiendo por ejemplo de la temperatura de enfriamiento, y por ejemplo, puede ser empleado helio, neón, hidrógeno, nitrógeno, aire, o un hidrocarburo.

45 El aparato 100 de refrigeración tiene, en el trayecto 101 de circulación, una pluralidad de compresores 102a, 102b, 102c e intercambiadores de calor 103a, 103b, 103c. Los intercambiadores de calor 103a, 103b, 103c están previstos sobre un lado aguas abajo de los compresores 102a, 102b, 102c, respectivamente, y son configurados para enfriar, mediante intercambio de calor, con agua de refrigeración, el refrigerante que tiene una temperatura aumentada por compresión adiabática.

50 La temperatura del refrigerante que fluye en el trayecto 101 de circulación es aumentada mediante compresión adiabática en primer lugar por el compresor 102a previsto en la posición más superior de la corriente (véase la porción 151 en la fig. 2b), y a continuación el refrigerante es enfriado mediante intercambio de calor con el agua de

refrigeración en el intercambiador de calor 103a previsto en el lado aguas abajo (véase la porción 152 en la fig. 2b). Después de eso la temperatura del refrigerante es aumentada otra vez mediante compresión adiabática por el compresor 102b (véase la porción 153 en la fig. 2b), y a continuación el refrigerante es enfriado mediante intercambio de calor con el agua de refrigeración en el intercambiador de calor 103b previsto en el lado aguas abajo (véase la porción 154 en la fig. 2b). Además, la temperatura del refrigerante es aumentada otra vez mediante compresión adiabática por el compresor 102c (véase la porción 155 en la fig. 2b), y a continuación el refrigerante es enfriado mediante intercambio de calor con el agua de refrigeración en el intercambiador de calor 103c previsto en el lado aguas abajo (véase la porción 156 en la fig. 2b).

En el aparato 100 de refrigeración, son llevadas a cabo repetidamente múltiples etapas de compresión adiabática por los compresores 102 y enfriamiento mediante los intercambiadores de calor 103 para mejorar la eficiencia. Es decir, llevando a cabo múltiples etapas de repetición de compresión adiabática y enfriamiento, el proceso de compresión del ciclo Brayton se aproxima a la compresión isotérmica ideal. Más números de etapas harán el proceso de compresión más próximo a la compresión isotérmica; sin embargo, el número de etapas puede ser decidido en vista de la selección de la relación de compresión debido al aumento en las etapas, la complicación de la configuración del aparato y la simplicidad de la operación.

El refrigerante fluido a través del intercambiador de calor 103c es enfriado además mediante el intercambiador de calor 106 de recuperación de calor frío (véase la porción 157 en la fig. 2a), y es sometido a expansión adiabática por el dispositivo de expansión 104 para generar un calor frío (véase la porción 158 en la fig. 2a).

En la fig. 1, se ha mostrado un ejemplo del aparato 100 de refrigeración que tiene un único dispositivo de expansión 104; sin embargo, el aparato 100 de refrigeración puede tener una pluralidad de dispositivo de expansión dispuestos en serie sobre el trayecto de circulación del mismo modo que los compresores 102.

El refrigerante evacuado desde el dispositivo de expansión 104 es sometido a intercambio de calor en la parte de enfriamiento 105 con el nitrógeno líquido que fluye en el trayecto de circulación dentro del dispositivo de superconducción como el objeto que ha de ser enfriado para tener una temperatura aumentada mediante la carga de calor (véase la porción 159 en la fig. 2a).

El refrigerante que tiene una temperatura aumentada por la parte de enfriamiento 105 es introducido al intercambiador de calor 106 de recuperación de calor frío, y es sometido a intercambio de calor con el refrigerante comprimido que tiene una temperatura elevada que ha fluido a través del intercambiador de calor 103c para recuperar el calor frío restante. Utilizando el calor frío restante en el refrigerante después de enfriar el objeto que ha de ser enfriado, se puede disminuir la temperatura del refrigerante que ha de ser introducida en la turbina de expansión, por tanto se puede mejorar la eficiencia de enfriamiento.

Como se ha descrito anteriormente, en el aparato 100 de refrigeración, se ha formado un ciclo Brayton utilizando una pluralidad de máquinas rotativas que incluyen los compresores 102 y el dispositivo de expansión 104.

Los dos compresores 102a, 102b en el lado superior de la corriente están conectados a ambas extremidades del árbol de salida 108a del motor eléctrico 107a como su fuente de alimentación común, respectivamente, por tanto el número de partes puede ser reducido, y el aparato de refrigeración puede ser instalado en un espacio pequeño. También, el compresor 102c en el lado inferior de la corriente y el dispositivo de expansión 104 están conectados a ambas extremidades del árbol de salida 108b del motor eléctrico 107b como su fuente de alimentación común, respectivamente, por tanto el número de partes puede ser reducido, y el aparato de refrigeración puede ser instalado en un espacio pequeño. Además, la energía generada por el dispositivo de expansión 104 contribuye a la energía de compresión del compresor 102c, por lo que se mejora la eficiencia.

La fig. 3 es un gráfico que muestra la relación entre las relaciones de compresión y las relaciones del coeficiente de rendimiento (relaciones de COP) de los compresores 102 del aparato 100 de refrigeración del ejemplo. Según este gráfico, se muestra analíticamente que cuando la relación de compresión del compresor 102 es de alrededor de 1,40, el COP se convierte en máximo. Según una investigación por los presentes inventores, se ha encontrado que con el fin de obtener una relación de compresión de alrededor de 1,40, lo mejor es establecer el número de etapas de los compresores a '3' y establecer el número de etapas de los dispositivo de expansión a '1'.

Otra vez en la fig. 1, en el trayecto 101 de circulación, una tubería de refrigerante que constituye el ciclo Brayton, entre la tubería 109 de baja presión en la cual fluye el refrigerante antes de ser comprimido por los compresores 102 y la tubería 110 de baja presión en la cual fluye el refrigerante después de ser comprimido por los compresores 102, está previsto un depósito 111 de almacenamiento temporal. Sobre el lado de entrada (el lado de la tubería 110 de alta presión) del depósito 111 de almacenamiento temporal hay prevista una primera válvula 112 capaz de controlar un caudal de entrada del refrigerante al depósito 111 de almacenamiento temporal, y sobre el lado de salida (el lado de la tubería 109 de baja presión) del depósito 111 de almacenamiento temporal, está prevista una segunda válvula 113 capaz de controlar un caudal de salida del refrigerante desde el depósito 111 de almacenamiento temporal.

La primera válvula 112 y la segunda válvula 113 son válvulas operadas eléctricamente de las cuales los grados de apertura son ajustables en base a las señales de control procedentes de un controlador 200 como un ejemplo del dispositivo de control según la presente invención, y están configuradas para permitir el flujo de entrada y flujo de

salida del refrigerante entre el trayecto 101 de circulación y el depósito 111 de almacenamiento temporal que constituyen el ciclo Brayton.

5 El controlador 200 es una unidad de control para controlar íntegramente la operación del aparato 100 de refrigeración, y está configurado para controlar los componentes respectivos del aparato 100 de refrigeración sobre la base de los valores de detección por el sensor de temperatura 160 anterior para ajustar la capacidad de refrigeración de acuerdo con el cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado.

10 Particularmente en este ejemplo, el sensor de temperatura 160 está previsto sobre el trayecto 150 de circulación en el cual fluye el refrigerante secundario, por lo que es posible detectar rápidamente un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado. Por consiguiente, se puede obtener un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton que tiene una buena capacidad de respuesta.

15 Además, en la proximidad del compresor 102a dispuesto sobre el lado más superior de la corriente, está previsto un sensor de presión 170 para detectar una presión del refrigerante antes de ser comprimido por los compresores 102 respectivos. El valor detectado por el sensor de presión 170 corresponde con el caudal del refrigerante que fluye en el trayecto 101 de circulación, y es enviado al controlador 200 para ser utilizado para el control de los distintos componentes, como es el caso con el valor detectado por el sensor de temperatura 160.

Ahora, el flujo de control por el controlador 200 en el aparato 100 de refrigeración será descrito con referencia a la fig. 4. La fig. 4 es un diagrama de flujo que muestra el flujo de control por el controlador 200 en el momento del cambio en la carga de calor.

20 En primer lugar, el controlador 200 determina si existe un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado o no en base al valor detectado mediante el sensor de temperatura 160 (paso S101). En el caso donde se determina que existe un cambio en la carga de calor (SI en el paso S101), el controlador 200 calcula la tasa de cambio en la carga de calor y determina si el cambio es más o menos (paso S102). En el caso donde se determina que no existe un cambio en la carga de calor (NO en el paso S101), el flujo vuelve al paso S101 para repetir el paso.

25 En el caso donde la tasa de cambio en la carga de calor es más (SI en el paso S102), es decir, en el caso donde la carga de calor ha aumentado, el controlador 200 lleva a cabo el control para abrir la segunda válvula 113 mientras la primera válvula 112 está cerrada (paso S103). A continuación, el refrigerante almacenado en el depósito 111 de almacenamiento temporal es descargado a la tubería 109 de baja presión por la diferencia de presión entre el depósito 111 de almacenamiento temporal y la tubería 109 de baja presión para aumentar el caudal (presión) del refrigerante que fluye en el ciclo Brayton. Como resultado la capacidad de enfriamiento del aparato 100 de refrigeración es ajustada para aumentar según el aumento en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado.

30 Por otro lado, en el caso donde la tasa de cambio en la carga de calor es menos (NO en el paso S102), es decir, en el caso donde la carga de calor ha disminuido, el controlador 200 lleva a cabo el control para abrir la primera válvula 112 mientras la segunda válvula 113 está cerrada (paso S104). A continuación, la parte del refrigerante que fluye en la tubería 110 de alta presión es introducida al depósito 111 de almacenamiento temporal por la diferencia de presión entre la tubería 110 de alta presión y el depósito 111 de almacenamiento temporal, para disminuir el caudal (presión) del refrigerante que fluye en el trayecto 101 de circulación. Como resultado, la capacidad de enfriamiento del aparato 100 de refrigeración es ajustada para disminuir según la disminución en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado.

35 Ya que se requiere que los grados de apertura de la primera válvula 112 y de la segunda válvula 113 sean ajustados en el momento del control de flujo anterior, las válvulas operadas eléctricamente pueden ser utilizadas preferiblemente como la primera válvula 112 y la segunda válvula 113.

40 El control de los grados de apertura de la primera válvula 112 y de la segunda válvula 113 mediante el controlador 200 puede ser llevado a cabo preferiblemente de manera que el caudal del refrigerante que fluye en el trayecto 101 de circulación resulte el caudal objetivo correspondiente al caudal de cambio de la carga de calor detectado por el sensor de temperatura 160, por ejemplo. En lo que respecta al caudal objetivo, un mapa de una relación entre el grado de apertura de cada una de las válvulas correspondientes con el caudal objetivo y la tasa de cambio del valor detectado del sensor de temperatura 160 puede ser almacenado de manera preliminar en un dispositivo de almacenamiento tal como una memoria, y un valor de medición real puede ser comparado según el mapa para llevar a cabo el control de los grados de apertura de las válvulas.

45 La fig. 5 es un gráfico que muestra la relación entre los valores detectados por un sensor de presión 170 y la relación de eficiencia adiabática de cada uno de los compresores 102 del aparato 100 de refrigeración del ejemplo. La fig. 6 es un gráfico que muestra la relación entre los valores detectados por el sensor de presión 170 y el coeficiente de rendimiento (COP) del aparato de refrigeración del ejemplo. En la fig. 5 y en la fig. 6, se muestran los resultados obtenidos calculando las relaciones de eficiencia adiabática y los COP en base a un valor de referencia de 170 kPa del valor detectado por el sensor de presión 170. Como se ha mostrado en estos gráficos, se obtuvo un resultado tal que con el aparato 100 de refrigeración de este ejemplo incluso en un caso donde se cambia la presión del refrigerante antes de ser comprimido por los compresores 102 respectivos, la relación de eficiencia adiabática y el coeficiente de rendimiento (COP) son mantenidos sustancialmente constantes sin cambios.

Por otro lado, la fig. 7 y la fig. 8 son gráficos que muestran una relación entre la velocidad de rotación y la relación de eficiencia adiabática y una relación entre la velocidad de rotación y el coeficiente de rendimiento (COP), respectivamente, en un caso donde la capacidad de refrigeración es ajustada solamente por el control de la velocidad de rotación de los compresores 102 y el dispositivo de expansión 104 de un modo convencional. Es decir, La fig. 7 y la fig. 8 muestran un ejemplo comparativo en el caso del control de velocidad de rotación convencional. En la fig. 7 y en la fig. 8, se muestran los resultados obtenidos calculando las relaciones de eficiencia adiabática y los COP en base a un valor de referencia del 100% de la velocidad de rotación.

En este caso, como se ha mostrado en la fig. 7, las relaciones de eficiencia adiabática de las máquinas rotativas son reducidas según el cambio en la velocidad de rotación, y se muestra que tal tendencia es particularmente significativa con el caso del dispositivo de expansión 104. Además, la relación de expansión es reducida también según el cambio en la velocidad de rotación. Como resultado, como se ha mostrado en la fig. 8, el COP es reducido y es disminuida la capacidad de refrigeración del aparato de refrigeración.

Por consiguiente, con el aparato 100 de refrigeración de este ejemplo, cuando se detecta un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado, ajustando las aperturas de la primera válvula 112 y de la segunda válvula 113, el caudal del refrigerante que fluye en el trayecto 101 de circulación es controlado para ajustar la capacidad de refrigeración. En tal control del caudal del refrigerante, el caudal de masa es cambiado mientras el caudal de volumen es mantenido constante, por lo que se puede obtener una buena respuesta al cambio de carga de calor sin cambiar otros parámetros de control tal como la relación de presión o temperatura. En el control del caudal del refrigerante, puede ser evitada, la reducción en la eficiencia adiabática del dispositivo de expansión, que puede ser causada en el control de velocidad de rotación convencional, por lo que es posible evitar la disminución en el coeficiente de rendimiento.

Además, el depósito 111 de almacenamiento temporal está previsto entre la tubería 109 de baja presión y la tubería 110 de alta presión donde existe una diferencia de presión. Por consiguiente, mediante la apertura o cierre de la primera válvula 112 prevista en la tubería 110 de alta presión, es posible introducir el refrigerante al depósito 111 de almacenamiento temporal de acuerdo con la diferencia de presión entre el depósito 111 de almacenamiento temporal y la tubería 110 de alta presión. Por otro lado, mediante la apertura o cierre de la segunda válvula 113 prevista en la tubería 109 de baja presión, es posible descargar el refrigerante desde el depósito 111 de almacenamiento temporal de acuerdo con la diferencia de presión entre el depósito 111 de almacenamiento temporal y la tubería 109 de baja presión. Por consiguiente, a través del control de caudal que utiliza el depósito 111 de almacenamiento temporal, que no requiere fuente de alimentación desde el exterior, se puede obtener una eficiencia de energía excelente.

En particular, el depósito 111 de almacenamiento temporal está previsto entre la tubería 110 de alta presión, a la cual es descargado el refrigerante desde el compresor 102c dispuesto en la posición más inferior de la corriente entre los compresores, y la tubería 109 de baja presión, a través de la cual es suministrado el refrigerante al compresor 102a dispuesto en la posición más superior de la corriente entre los compresores, por lo que se puede asegurar una diferencia de presión grande entre la tubería de alta presión y la tubería de baja presión. Por consiguiente, mediante la apertura/cierre del control de la primera válvula 112 y el de la segunda válvula 113, es posible llevar a cabo fácilmente el control de caudal a través de la introducción o descarga del refrigerante desde el depósito 111 de almacenamiento temporal.

Además, la tubería 110 de alta presión a la cual está conectado el depósito 111 de almacenamiento temporal tiene una tubería de derivación derivada desde una posición entre el compresor 102c y el intercambiador de calor 106 de recuperación de calor frío. Por consiguiente, utilizando el calor frío restante en el refrigerante después de enfriar el objeto que ha de ser enfriado mediante la parte de enfriamiento 105, es posible enfriar previamente el refrigerante que tiene una temperatura elevada que ha de ser suministrado al dispositivo de expansión 104 para mejorar la capacidad de refrigeración. En el caso donde el refrigerante es introducido al depósito 111 de almacenamiento temporal para llevar a cabo el control de caudal, introduciendo el refrigerante al depósito 111 de almacenamiento temporal desde una derivación a partir del lado superior de la corriente del intercambiador de calor 106 de recuperación de calor frío, se disminuye el caudal del refrigerante suministrado a la parte de enfriamiento 105, por lo que es posible enfriar el refrigerante mediante el intercambiador de calor 106 de recuperación de calor frío de manera más eficiente.

Otra vez en la fig. 1, en el aparato 100 de refrigeración del ejemplo, una tubería 114 de derivación está prevista entre la tubería 110 de alta presión y la tubería 109 de baja presión para bordear el depósito 111 de almacenamiento temporal y sobre la tubería 114 de derivación, está prevista una tercera válvula 115. Cambiando el estado de la tercera válvula 115 para ser abierta en el momento del comienzo del aparato 100 de refrigeración en base a una señal de control desde el controlador 200, resulta posible operar los compresores 102 o el dispositivo de expansión 104 a una velocidad de rotación elevada para llevar a cabo el enfriamiento previo, por lo tanto para llevar a cabo un enfriamiento suave.

Tal operación a una velocidad de rotación elevada en el arranque puede ser llevada a cabo dentro de un rango aceptable de tasa de refrigeración de, por ejemplo, los intercambiadores de calor utilizados en el aparato 100 de refrigeración.

En el trayecto 101 de circulación, mientras la sección transversal más pequeña está presente en el trayecto de flujo en la proximidad de la entrada del dispositivo de expansión 104, donde la densidad es la más elevada bajo la condición de operación nominal, la temperatura de admisión del dispositivo de expansión 104 es probable que sea alta (la densidad del refrigerante es probable que sea pequeña) en el momento del enfriamiento previo. A continuación, ya que el caudal del refrigerante en la zona es disminuido, en caso de que la velocidad de rotación sea aumentada en tal estado, puede producirse un incremento de presión.

Por consiguiente, en el aparato de refrigeración del ejemplo, en un caso en el que se detecta un estado que indica una alta posibilidad de incremento de presión, la tercera válvula 115 es controlada para ser abierta para permitir que el refrigerante escape de la tubería 110 de alta presión a la tubería 109 de baja presión (puenteando el depósito 111 de almacenamiento temporal), por lo que es posible mantener el caudal del refrigerante para impedir el incremento de presión de los compresores 102 en el momento del enfriamiento previo. La válvula anterior puede controlar, por ejemplo, como sigue: un segundo sensor 180 de temperatura está previsto en la proximidad del dispositivo de expansión 104, y cuando se determina basándose en el valor detectado del sensor 180 de temperatura por el controlador 200 que la posibilidad de incremento de presión es elevada, la tercera válvula 115 es abierta automáticamente.

Mientras la tercera válvula 115 requiere también control del grado de apertura por el controlador 200, es utilizada preferiblemente una válvula operada eléctricamente como la tercera válvula 115.

Además una segunda tubería 116 de derivación está prevista para ser derivada desde la posición entre el compresor 102b y el compresor 102c en el trayecto 101 de circulación, y está prevista una cuarta válvula 117 en la segunda tubería 116 de derivación. Si cualquiera de los compresores 102 es parado debido a un fallo de las máquinas rotativas incluyendo los compresores 102 y el dispositivo de expansión 104 o del sistema de control que incluye un inversor (no mostrado) para suministrar energía a las máquinas rotativas, se disminuye el caudal del refrigerante que fluye en el ciclo Brayton, y puede ocurrir también el incremento de presión en otro de los compresores 102. En tal caso mediante la apertura de la cuarta válvula 117 por el controlador 200, es posible liberar el refrigerante al depósito 111 de almacenamiento temporal para impedir el incremento de presión. El control de apertura/cierre anterior de la cuarta válvula 117 puede, por ejemplo, ser como sigue: la velocidad de rotación de los compresores 102 o el dispositivo de expansión 104, o la salida del sistema de control que incluye el inversor es vigilada para detectar el aumento mediante un sensor (no mostrado) en el controlador, y cuando se detecta una disminución en la velocidad de rotación o una señal de error, se determina que ha ocurrido un incremento de presión, y la cuarta válvula 117 es abierta.

Como la cuarta válvula 117 es requerida para responder rápidamente al comando de apertura desde el controlador 200, una válvula de solenoide es utilizada preferiblemente como la cuarta válvula 117. Además, una válvula de solenoide 118 puede estar prevista entre la tubería 110 de alta presión y el depósito 111 de almacenamiento temporal, y puede ser configurada para ser abierta o cerrada en base a la señal de control desde el controlador 200 para permitir que el refrigerante fluya en la tubería 110 de alta presión para escapar del depósito 111 de almacenamiento temporal en caso de cualquier anomalía.

La primera a la cuarta válvulas anteriores pueden ser configuradas para ser abiertas o cerradas por control para permitir que el refrigerante fluya en el trayecto 101 de circulación al depósito 111 de almacenamiento temporal en caso de emergencia tal como la ocurrencia de alguna anomalía en el aparato 100 de refrigeración, por ejemplo. Es posible por tanto evitar un aumento no intencionado en la presión del refrigerante en el trayecto 101 de circulación o el incremento de presión en los compresores 102, y así es posible obtener el aparato 100 de refrigeración de seguridad excelente. En tal caso, el caudal del refrigerante o la relación de presión pueden ser vigilados por un sensor para controlar los grados de apertura de las válvulas.

Si se pretende que el incremento de presión sea evitado solamente por control de la velocidad de rotación, se dice que se prefiere un control sin pasos de la velocidad de rotación. Sin embargo, existe un problema tal que la estructura del aparato puede resultar complicada con el fin de llevar a cabo tal control sin pasos. Con el aparato 100 de refrigeración del ejemplo, el incremento de presión puede ser evitado por el control de caudal del refrigerante, por lo que es posible mejorar la seguridad mientras la estructura del aparato es simplificada.

El depósito 111 de almacenamiento temporal puede ser utilizado también para absorber el cambio en volumen del refrigerante en el ciclo cuando el aparato 100 de refrigeración es parado. Aunque puede haber un aparato de refrigeración conocido que emplea un depósito que tiene tal uso, el control de caudal anterior del refrigerante que utiliza el depósito 11 de almacenamiento temporal de la presente invención puede ser llevado a cabo utilizando un depósito utilizado de manera convencional en combinación. Por consiguiente, el aparato de refrigeración de la presente invención tiene también una ventaja en términos de coste.

Además, como el aparato 100 de refrigeración del ejemplo puede funcionar mediante el control de apertura/cierre de las válvulas, el deterioro de las partes debido, por ejemplo, al desgaste es menos probable que ocurra. Por consiguiente, la vida del aparato es larga, y es posible asegurar la durabilidad, fiabilidad y solidez durante un largo

periodo de tiempo. Además, la operación de apertura/cierre de las válvulas es llevada a cabo fácilmente incluso en un estado de temperatura muy baja, por lo que es posible aplicar tal aparato 100 de refrigeración a un sistema utilizado bajo un entorno de temperatura severo, tal como un dispositivo de superconducción.

5 En el proceso de compresión del ciclo Brayton, es llevada a cabo una compresión adiabática; sin embargo, la presente invención puede ser aplicada también al denominado ciclo Ericsson, donde la compresión adiabática es reemplazada por una compresión isotérmica. En el ejemplo anterior, el calentamiento de compresión por los compresores 102 y el enfriamiento por los intercambiadores de calor 103 son llevados a cabo repetidamente en múltiples etapas, y aumentando el número de repetición, es posible realizar sustancialmente una compresión isotérmica. Por consiguiente, un aparato de refrigeración que puede considerarse como un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Ericsson sustancial, que puede ser obtenido aumentando el número de etapas de compresión del aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton del ejemplo anterior, está también dentro del alcance de la presente invención.

10 En la descripción anterior, se ha descrito un ejemplo del aparato de refrigeración que utiliza un ciclo Brayton; sin embargo, la presente invención puede ser aplicada también a un aparato de bomba de calor que utiliza un ciclo Brayton.

Aplicabilidad industrial

La presente invención es aplicable a un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton capaz de controlar la capacidad de enfriamiento contra cambios en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado.

20

REIVINDICACIONES

1.- Un aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton que utiliza un ciclo Brayton que tiene múltiples etapas de compresores (102a, 102b, 102c) dispuestos en serie sobre una tubería refrigerante para generar calor frío utilizando un refrigerante comprimido por los compresores para enfriar un refrigerante secundario, que comprende:

5 un dispositivo (160) de detección de carga de calor para detectar una carga de calor de un objeto que ha de ser enfriado;

un depósito (111) de almacenamiento temporal previsto entre una tubería (109) de baja presión en la cual fluye el refrigerante antes de ser comprimido por los compresores y una tubería (110) de alta presión en la cual fluye el refrigerante después de ser comprimido por los compresores;

10 una primera válvula (112) prevista sobre el lado de entrada del depósito (111) de almacenamiento temporal y capaz de controlar un caudal de entrada del refrigerante al depósito (111) de almacenamiento temporal;

una segunda válvula (113) prevista sobre el lado de salida del depósito (111) de almacenamiento temporal y capaz de controlar un caudal de salida del refrigerante desde el depósito (111) de almacenamiento temporal; y

15 un dispositivo (200) de control para controlar un grado de apertura de la primera válvula (112) y un grado de apertura de la segunda válvula (113),

caracterizado por que el dispositivo (200) de control está configurado, cuando se detecta un cambio en la carga de calor del objeto que ha de ser enfriado por el dispositivo (160) de detección de carga de calor, para ajustar el grado de apertura de la primera válvula (112) y el grado de apertura de la segunda válvula (113) para cambiar un control de flujo del refrigerante que fluye en el ciclo Brayton,

20 el dispositivo (200) de control está configurado, cuando la tasa de cambio de la carga de calor detectada por el dispositivo (160) de detección de carga de calor es mayor que un valor prescrito establecido de manera preliminar, para controlar al menos una velocidad de rotación de uno de los compresores y una velocidad de rotación de un dispositivo de expansión (104), y a continuación para ajustar el grado de apertura de la primera válvula (112) y el grado de apertura de la segunda válvula (113).

25

2.- El aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton según la reivindicación 1,

en donde la tubería (110) de alta presión es una tubería a la cual se descarga el refrigerante desde un compresor (102c) dispuesto en la posición más inferior de la corriente entre los compresores, y

30 en donde la tubería (109) de baja presión es una tubería a través de la cual el refrigerante es suministrado a un compresor (102a) dispuesto en la posición más superior de la corriente entre los compresores.

3.- El aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton según la reivindicación 2, que comprende además un intercambiador de calor (106) de recuperación de calor frío para intercambiar calor entre el refrigerante comprimido por los compresores y el refrigerante después de enfriar el objeto que ha de ser enfriado,

35 en donde la tubería (110) de alta presión tiene una tubería de derivación derivada desde al menos una posición entre uno de los compresores del intercambiador de calor (106) de recuperación de calor frío.

4.- El aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3,

en donde una parte de refrigeración del ciclo Brayton está configurada para enfriar, por medio de un intercambiador de calor (103) un refrigerante secundario que circula a través del objeto que ha de ser enfriado, y

40 en donde el dispositivo (160) de detección de carga de calor comprende un sensor de temperatura previsto sobre una tubería en la cual fluye el refrigerante secundario.

5.- El aparato de refrigeración de tipo de ciclo Brayton según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,

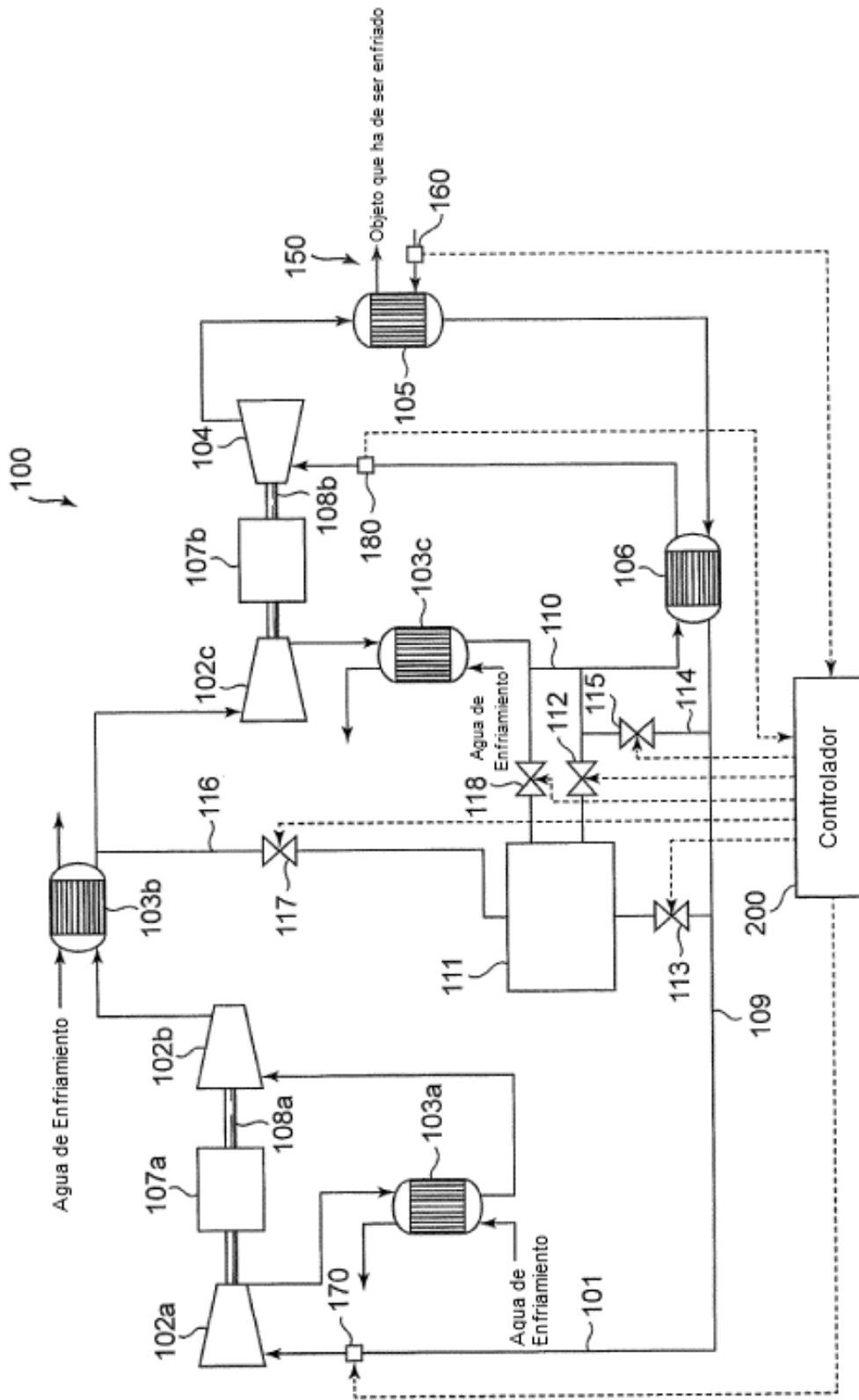
45 en donde las múltiples etapas de los compresores (102a, 102b, 102c) comprende un primer compresor (102a), un segundo compresor (102b) y un tercer compresor (102c), dispuestos en serie en este orden desde el lado aguas arriba,

en donde el primer compresor (102a) y el segundo compresor (102b) están conectados a un árbol de salida (108a) de un primer motor eléctrico (107a), y

en donde el tercer compresor (102c) y el dispositivo de expansión (104) están conectados a una salida (108b) de un segundo motor eléctrico (107b).

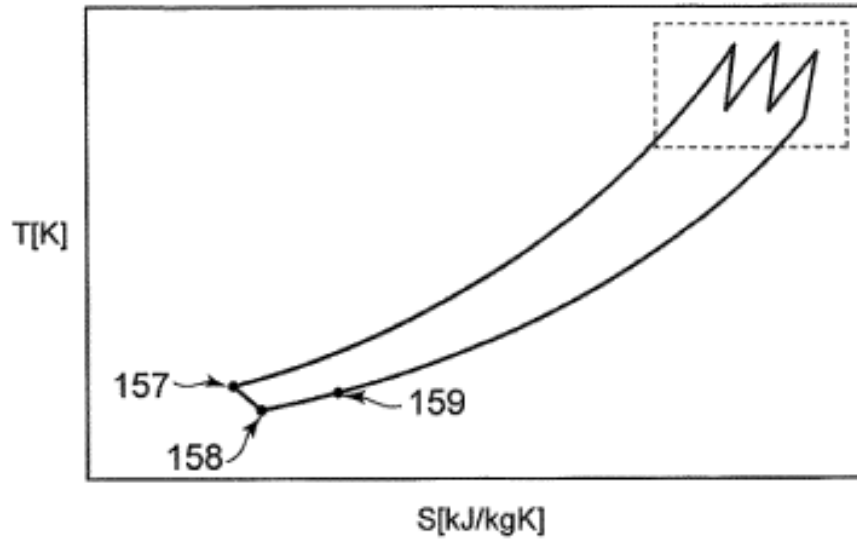
50

[Fig.1]

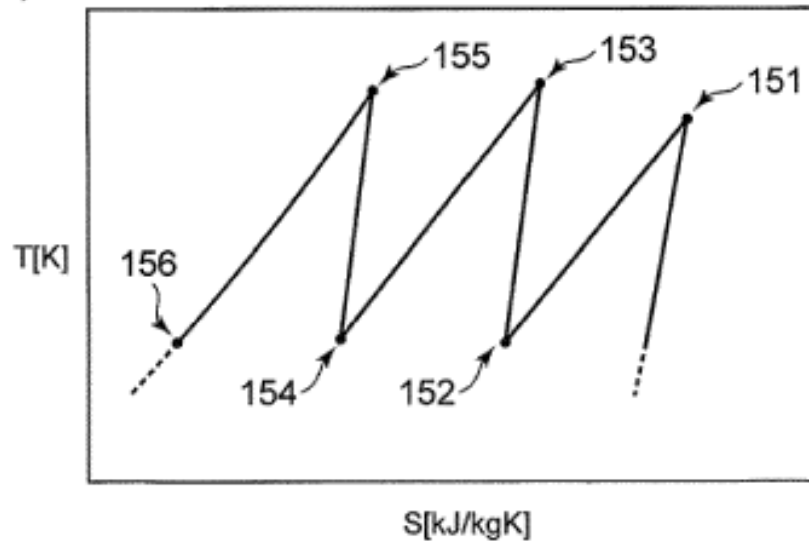


[Fig.2]

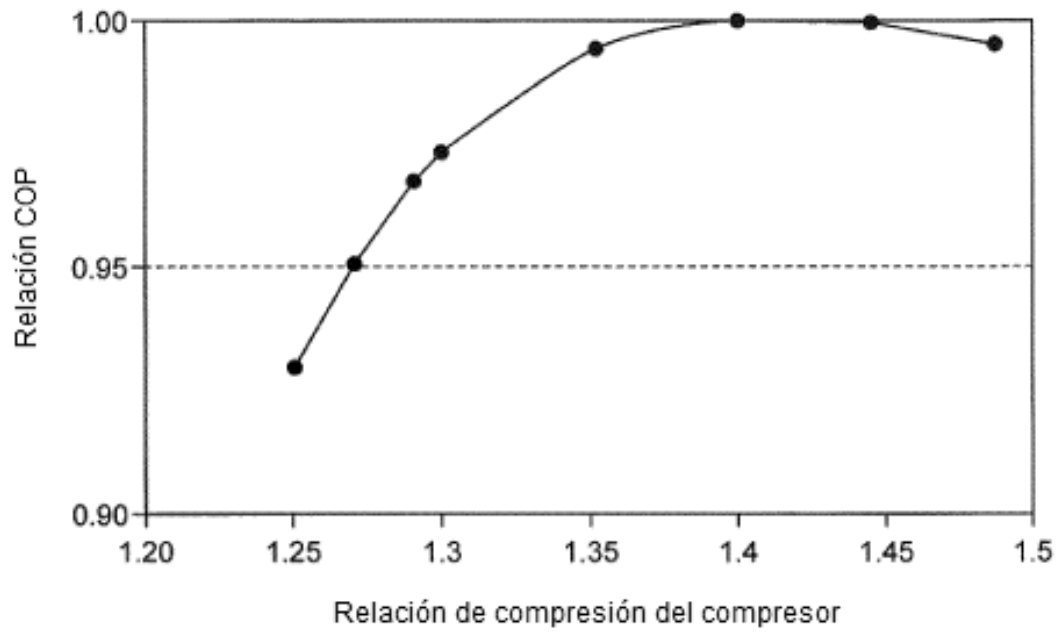
(a)



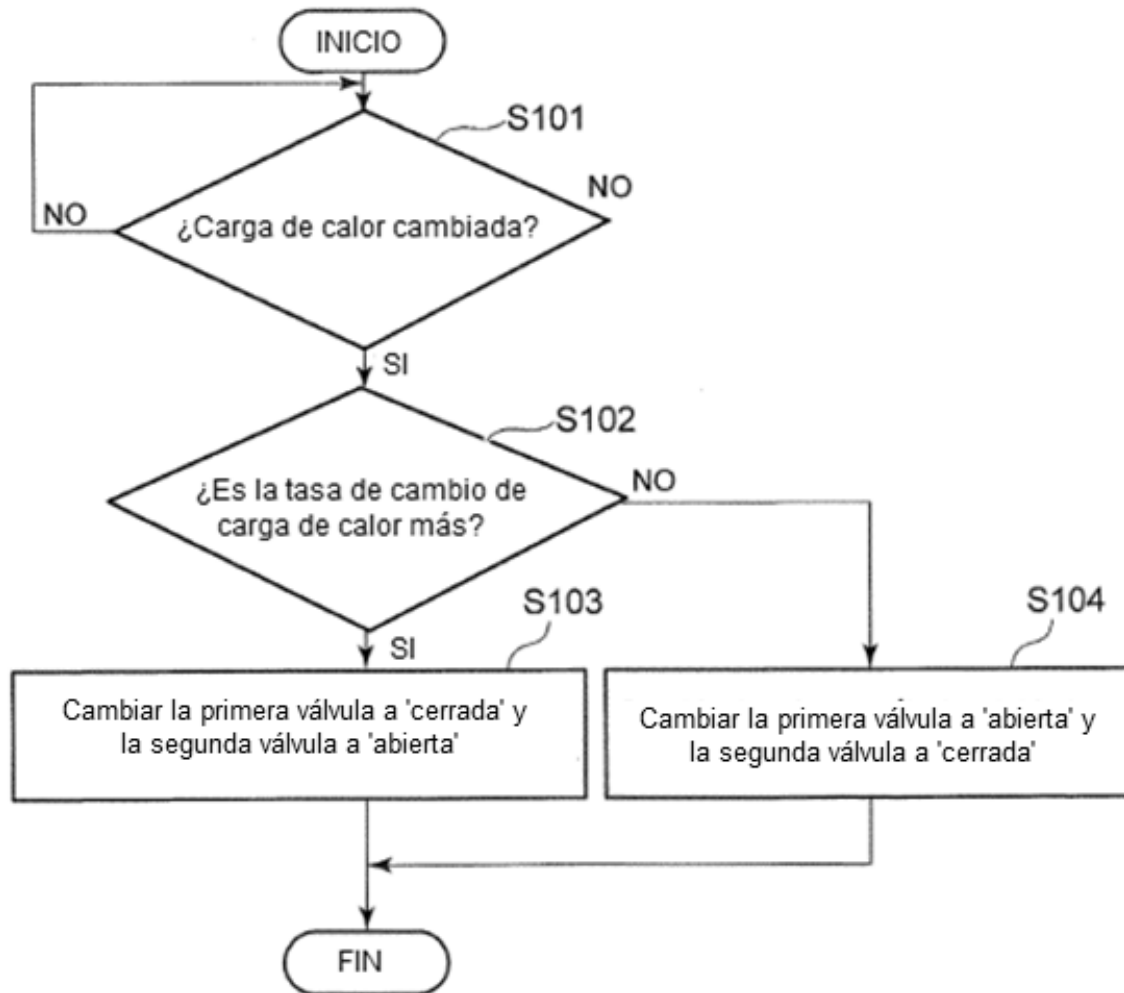
(b)



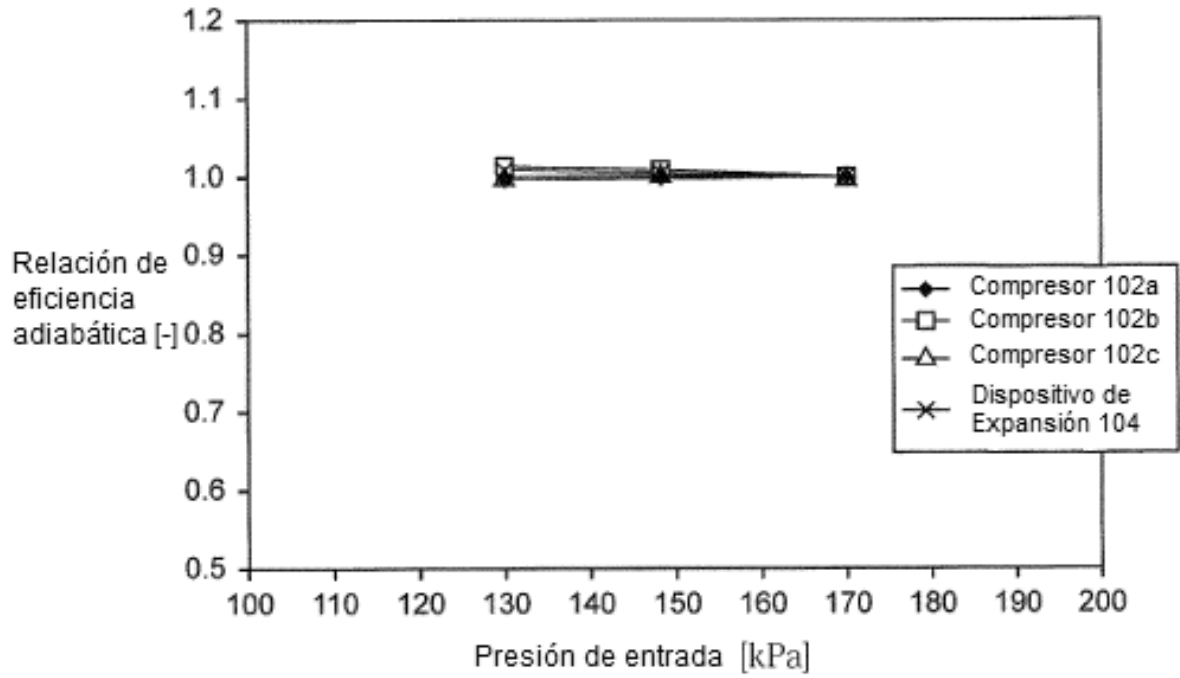
[Fig.3]



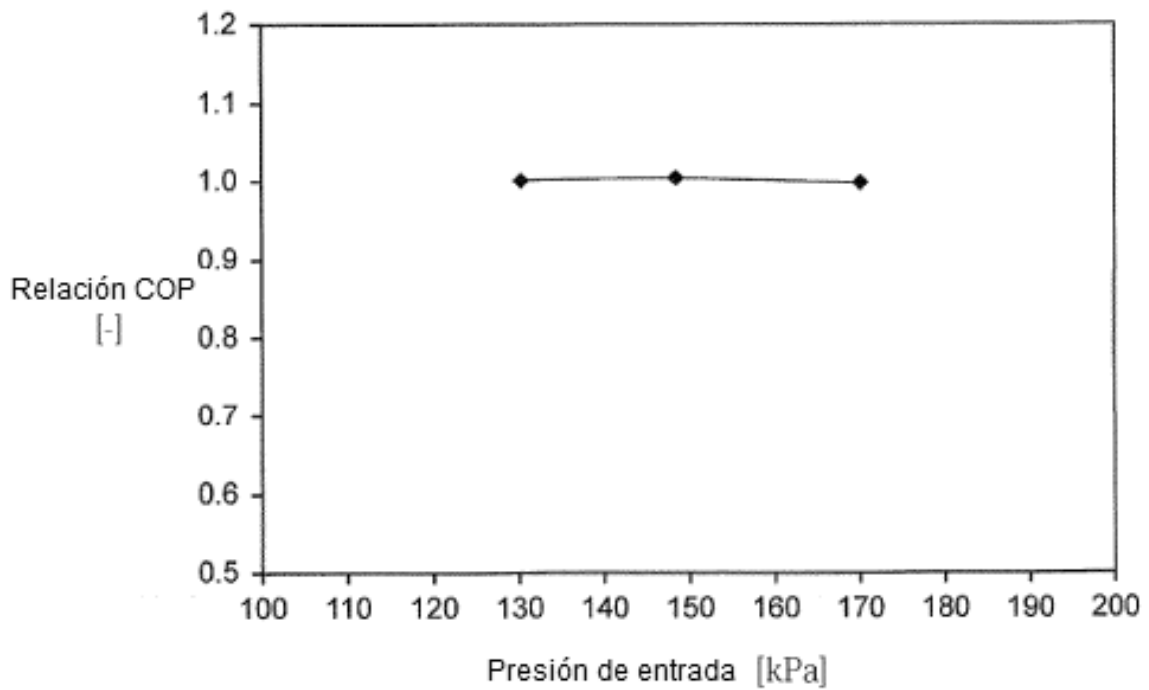
[Fig.4]



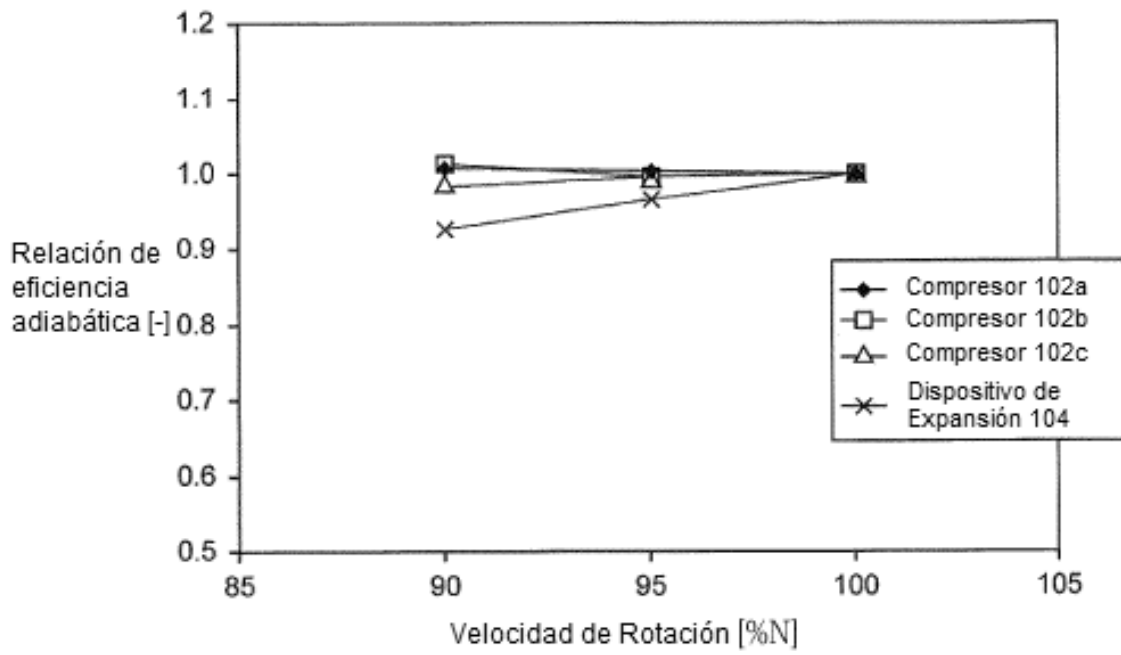
[Fig.5]



[Fig.6]



[Fig.7]



[Fig.8]

