

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 747 643**

51 Int. Cl.:

F25B 11/02 (2006.01)
F01D 15/08 (2006.01)
F04B 35/00 (2006.01)
F04D 29/058 (2006.01)
F25B 1/10 (2006.01)
F25B 9/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.05.2015 PCT/JP2015/063108**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.11.2016 WO16178272**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.05.2015 E 15891279 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019 EP 3249319**

54 Título: **Frigorífico y método de funcionamiento para frigorífico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.03.2020

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 y
KUDO, MIZUO

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 747 643 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

Frigorífico y método de funcionamiento para frigorífico

Campo técnico

5 La presente descripción está relacionada con un frigorífico que incluye un compresor de expansor integrado y un método de funcionamiento del frigorífico.

Antecedentes de la técnica

10 Un frigorífico conocido usa el ciclo Brayton como ciclo de refrigeración e incluye un compresor de expansor integrado que puede realizar enfriamiento criogénico. Además, en algunos casos, se proporciona un cojinete de tipo sin contacto, tal como un cojinete magnético, para soportar un árbol de salida de un motor para impulsar un compresor de expansor integrado. Un cojinete de tipo sin contacto soporta un árbol rotacional tal como un árbol de salida de un motor sin hacer contacto con el árbol rotacional, y no genera pérdida por fricción mecánica y abrasión con el árbol rotacional, así que tiene una alta durabilidad comparada con un cojinete de rodillos que soporta un árbol rotacional mientras hace contacto con el árbol rotacional. Así, para un motor que funciona a alta velocidad de rotación, por ejemplo, se proporciona un cojinete de tipo sin contacto, tal como un cojinete magnético, para soportar un árbol de salida del motor.

15 El Documento de Patente 1 describe un compresor de expansor integrado provisto de este tipo de cojinete de tipo sin contacto. El compresor de expansor integrado descrito es un compresor de turbina de tipo cojinete magnético que incluye un impulsor de turbina y un impulsor de compresor montado en un extremo de un árbol, con un cojinete magnético que soporta de manera pivotante el árbol. Con un frigorífico provisto del compresor de expansor integrado descrito en el Documento de Patente 1, se recupera una parte de la energía de expansión generada con la expansión de un fluido por el expansor, y la energía de expansión recuperada se reutiliza como energía rotacional de un árbol rotacional de motor para impulsar el compresor. Así, la potencia para impulsar el motor disminuye, y el coeficiente de rendimiento (COP, *coefficient of performance*) del frigorífico mejora.

20 Sin embargo, con el reciente desarrollo en tecnologías criogénicas, existe la necesidad de una mejora adicional del coeficiente de rendimiento (COP) para mejorar además la propiedad de conservación de energía de los frigoríficos que usan el ciclo Brayton. En un compresor de expansor integrado, el deterioro de la eficiencia adiabática del expansor y una disminución en el COP del frigorífico pueden ser provocados por penetración de calor debido a un refrigerante que pasa a través de una región formada dentro un espacio interior de una carcasa debido a una diferencia de presión entre el compresor y el expansor, que fuga desde el lado de cara posterior del compresor hacia el expansor.

25 Entretanto, un frigorífico conocido incluye una pluralidad de compresores proporcionado en más de una fase, para mejorar la relación de compresión de los compresores para realizar enfriamiento criogénico. El Documento de Patente 2 describe un acondicionador de aire de refrigeración con dos fases de compresores y expansores, que realiza un ciclo de compresión en dos fases y expansión en dos fases. En este dispositivo, un compresor de expansor integrado, que incluye integralmente un compresor de fase alta y los expansores primero y segundo, se aloja en un recipiente sellado, lo que ya no hace necesario proporcionar una junta de sellado entre los compresores y los expansores. En el Documento de Patente 3, para resolver el problema anterior de un compresor de expansor integrado, el refrigerante que fuga es devuelto al lado de admisión o el lado de descarga del compresor desde una línea de extracción dispuesta en una carcasa. Otro sistema de refrigeración se describe en el documento WO 2014/178240.

Lista de citas

Bibliografía de patentes

40 Documento de patente 1: JPH7-91760A

Documento de patente 2: 2005-98604A

Documento de Patente 3: memoria descriptiva y dibujos de PCT/JP2014/077109 (no publicado aún)

Compendio

Problemas a resolver

45 Como se ha descrito anteriormente, en un frigorífico provisto de un compresor de expansor integrado, el rendimiento de refrigeración puede ser deteriorado por un refrigerante a alta temperatura que pasa a través de una región formada dentro de un espacio interior de una carcasa del compresor de expansor integrado y fuga desde el lado de compresor hacia el lado de expansor. Los Documentos de patente 1 y 2 no describen ninguna solución al problema anterior. Aunque la solución propuesta en el Documento de Patente 3 puede evitar hasta cierto punto el flujo entrante de un refrigerante a alta temperatura desde el compresor, la cantidad de refrigerante a devolver a la línea de extracción se limita para impedir una disminución en la capacidad de carga del cojinete magnético y el deterioro del rendimiento de compresor.

Un objeto de al menos una realización de la presente invención es proporcionar un frigorífico de ciclo Brayton que incluye un compresor de expansor integrado libre del problema anterior y que tiene un COP mejorado.

Solución a los problemas

Según la presente invención, se proporciona el frigorífico y el método definidos en las reivindicaciones adjuntas.

- 5 (1) Un frigorífico según al menos un aspecto de la presente descripción comprende: una parte de enfriamiento para enfriar un objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con un refrigerante; un compresor de expansor integrado que incluye un compresor para comprimir el refrigerante y un expansor para expandir el refrigerante, el compresor y el expansor integrados en el compresor de expansor integrado; y una línea de circulación de refrigerante configurada para hacer circular el refrigerante a través del compresor, el expansor y la parte de enfriamiento. El
10 compresor incluye un compresor de fase baja, un compresor de fase media y un compresor de fase alta dispuestos en serie en la línea de circulación de refrigerante, y el compresor de expansor integrado incluye: el compresor de fase media; un expansor para expandir y enfriar adiabáticamente el refrigerante descargado desde el compresor de fase alta; un primer motor que tiene un árbol de salida conectado al compresor de fase media y al expansor; al menos un cojinete de tipo sin contacto, dispuesto entre el compresor de fase media y el expansor, para soportar el árbol de salida del primer motor sin estar en contacto con el árbol de salida; y una carcasa para alojar el compresor de fase media, el expansor y el al menos un cojinete de tipo sin contacto.

En un compresor de expansor integrado, una región entre el expansor y el compresor, dentro del espacio interior de la carcasa, no es un camino de flujo pensado originalmente para que el fluido de trabajo fluya a través. Así, normalmente se proporciona una junta de sellado entre el compresor y la región, y entre el expansor y la región, de modo que el fluido de trabajo no fuga a la región anterior desde el compresor y el expansor. Sin embargo, aunque se proporcionan tales juntas de sellado, es difícil sellar el fluido de trabajo completamente e impedir fuga desde el compresor. Como resultado de intensas investigaciones realizadas por los presentes inventores, se ha encontrado que una diferencia de presión entre el lado de compresor y el lado de expansor provoca fuga de una parte del fluido de trabajo comprimido por el compresor al lado de expansor a través de una holgura diminuta de la junta de sellado desde el lado de compresor por medio de la región, y que el fluido que fuga a alta temperatura que fluye entrando al expansor puede provocar una disminución en la eficiencia adiabática del expansor.

Con la configuración anterior (1), los compresores se proporcionan en tres fases, y así es posible aumentar la relación de compresión y reducir la temperatura del refrigerante a una temperatura criogénicamente baja. En un frigorífico provisto de un compresor de expansor integrado, es posible ahorrar energía al proporcionar una pluralidad de fases de compresores, que incluyen un compresor de fase alta que requiere una gran potencia que se integra con un expansor para constituir la energía consumida por el compresor de fase alta con energía de expansión recuperada. Sin embargo, la presión y la temperatura del refrigerante que fuga del compresor de fase alta hacia el expansor son considerablemente diferentes de la presión y la temperatura del refrigerante expandido por el expansor. Una cantidad extremadamente grande de calor entra al expansor aunque la cantidad de fuga es pequeña, lo que puede deteriorar considerablemente la eficiencia adiabática del expansor y el rendimiento de refrigeración (capacidad de refrigeración, COP) del frigorífico.

Con la configuración anterior (1), el compresor de fase media y el expansor se integran en el compresor de expansor integrado, y de ese modo es posible reducir o eliminar sustancialmente la diferencia de presión entre la presión estática de salida del compresor de fase media y la presión estática de entrada del expansor durante funcionamiento normal. Por consiguiente, es posible restringir la cantidad de refrigerante que fuga desde el compresor al expansor y la penetración de calor, y suprimir el deterioro de la eficiencia adiabática del expansor y del rendimiento de refrigeración del frigorífico.

(2) en algunos aspectos, en la configuración anterior (1), el frigorífico comprende además una línea de extracción dispuesta para comunicar con una región entre el compresor de fase media y el expansor en un espacio interior de la carcasa, y configurado para extraer al menos una parte de refrigerante que fuga que fluye desde un lado del compresor de fase media hacia el expansor dentro de la carcasa desde la región a la línea de circulación de refrigerante conectada a un lado de admisión o un lado de descarga del compresor de fase media fuera de la carcasa. La carcasa se configura para sellar la región desde fuera de la carcasa de modo que al menos una parte del refrigerante que fuga por medio de la línea de extracción es el único flujo del refrigerante entre la región y el exterior de la carcasa.

También con la configuración anterior (1), si el refrigerante fuga desde el lado de compresor hacia el expansor, al menos una parte del refrigerante que fuga que fluye desde el lado de compresor hacia el expansor es extraído de la región a la línea de circulación de refrigerante conectada al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media fuera de la carcasa a través de la línea de extracción. Por consiguiente, incluso si el refrigerante está fugando desde el lado del compresor de fase media, es posible reducir aún más la cantidad de refrigerante que fluye hacia el expansor, y de ese modo suprimir aún más la transferencia de calor al expansor por medio del refrigerante que fuga. Así, es posible impedir una disminución en la eficiencia adiabática del expansor y el deterioro del rendimiento de refrigeración del frigorífico debido a fuga de fluido desde el lado de compresor.

Si la carcasa no se sella del exterior y un gas distinto al refrigerante que fuga que fluye desde la región a la región de circulación de refrigerante se permite que fluya a la región desde fuera de la carcasa, se puede transferir calor desde el gas que fluye a la región desde fuera de la carcasa hacia el expansor que tiene una temperatura baja. Así, inesperadamente puede entrar calor al expansor no únicamente debido a refrigerante que fuga sino también al gas que fluye a la región desde fuera de la carcasa, y es difícil impedir la causa de penetración inesperada de calor al expansor incluso con la línea de extracción.

En contraste, con el compresor de expansor integrado según la configuración anterior (2), la región se sella del exterior de la carcasa de modo que al menos una parte del refrigerante que fuga por medio de la línea de extracción es el único flujo entre la región y el exterior de la carcasa. Así, básicamente, el líquido que fuga es la única causa de penetración de calor inesperada al expansor. Por consiguiente, con la línea de extracción que forma un flujo de refrigerante que guía al menos una parte del refrigerante que fluye desde el lado de compresor hacia el expansor en la región anterior a la línea de circulación de refrigerante, es posible impedir penetración de calor inesperada al lado de expansor y mejorar drásticamente el COP.

(3) en algunos aspectos, en la configuración anterior (1) o (2), el frigorífico comprende además un manómetro para detectar un diferencial de presión entre una presión de una región más cerca del compresor de fase media que del expansor, en la región del espacio interior de la carcasa, y una presión de una región más cerca del expansor que del compresor de fase media en la región. Una presencia o una ausencia del refrigerante que fuga se detectan a partir de un valor de detección del manómetro. Con la configuración anterior (3), es posible predecir la cantidad de refrigerante que fuga desde el compresor de fase media hacia el expansor con precisión al detectar la diferencia de presión entre las dos regiones. Así, es posible suprimir la penetración de calor al expansor al controlar el funcionamiento del frigorífico, o al extraer de la línea de extracción el refrigerante que fuga si el compresor de expansor integrado incluye la línea de extracción, sobre la base de la diferencia de presión detectada anterior.

(4) en algunos aspectos, en una cualquiera de las configuraciones anteriores (1) a (3), el frigorífico comprende además un termómetro para detectar una diferencia de temperatura entre una temperatura de una región más cerca del compresor de fase media que del expansor en la región del espacio interior de la carcasa, y una temperatura de una región más cerca del expansor que del compresor de fase media en la región. Una presencia o una ausencia del fluido que fuga se detectan a partir de un valor de detección del termómetro. Con la configuración anterior (4), es posible predecir la cantidad de refrigerante que fuga desde el compresor de fase media hacia el expansor con precisión al detectar la diferencia de temperatura entre las dos regiones. Así, es posible suprimir la penetración de calor al expansor al controlar el funcionamiento del frigorífico, o al extraer el refrigerante que fuga de la línea de extracción si el frigorífico incluye la línea de extracción, sobre la base de la diferencia de temperatura detectada.

(5) En algunos aspectos, en la configuración anterior (3) o (4), el frigorífico comprende además: una válvula de extracción, dispuesta en la línea de extracción, para ajustar una cantidad de extracción del refrigerante que fuga; y un controlador para controlar un grado de apertura de la válvula de extracción sobre la base del valor de detección del manómetro o del termómetro. Con la configuración anterior (5), el grado de apertura de la válvula de extracción es controlado por el controlador sobre la base de la diferencia de presión detectada por el manómetro o de la diferencia de temperatura detectada por el termómetro, y de ese modo es posible controlar la cantidad de extracción según la cantidad de refrigerante que fuga. Así, es posible reducir aún más la cantidad de calor que entra al expansor.

(6) En algunos aspectos, en la configuración anterior (5), el controlador se configura para controlar el grado de apertura de la válvula de extracción sobre la base de al menos uno de: COP del frigorífico; o una diferencia de temperatura de refrigerante entre un lado de admisión y un lado de descarga del expansor. El COP de frigorífico se puede obtener del COP estándar de consumo de potencia (COP_b) como en la expresión (1), o del COP estándar de potencia de compresión (COP_c) como en la expresión (2).

(Expresión 1)

$$COP_b = \frac{(h_6 - h_5) \cdot G}{P} \quad (1)$$

(Expresión 2)

$$COP_c = \frac{h_6 - h_5}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

En las expresiones anteriores (1) y (2), G es el caudal másico [kg/s] de refrigerante que circula a través de la línea de circulación de refrigerante; P es la potencia (consumo de potencia) [W]; h_1 es la entalpía de entrada [J/kg] del compresor; h_2 es la entalpía de salida [J/kg] del compresor; h_5 es la entalpía de entrada [J/kg] del intercambiador de

calor para la parte de enfriamiento; y h_6 es la entalpía de salida [J/kg] del intercambiador de calor para la parte de enfriamiento.

5 Cuanto mayor es la cantidad de refrigerante que fuga extraída a la línea de circulación de refrigerante menos es la cantidad de calor que fluye hacia el expansor por medio del refrigerante que fuga. Sin embargo, si la cantidad de extracción es demasiado grande, habría más refrigerante que fuga que no circula a través de la línea de circulación de refrigerante y que no contribuye al enfriamiento de un objeto que va a ser enfriado, lo que puede llevar a un aumento en la potencia de motor usada en compresión y una disminución en la eficiencia de compresor. Así, el COP de un frigorífico que incluye el compresor de expansor integrado alcanza su máximo en cierta cantidad de extracción (COP de cantidad de extracción máxima). En vista de esto, con la configuración anterior (6), es posible mejorar el COP del frigorífico al controlar la cantidad de extracción a un valor cerca de la cantidad de extracción máxima de COP según las condiciones de funcionamiento, sobre la base de al menos uno del COP de frigorífico o una diferencia de temperatura de refrigerante entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor. Es más, durante funcionamiento con menos cambios en las condiciones, el grado de apertura se puede ajustar con una válvula de mano para que esté en un grado de apertura constante.

15 (7) En algunos aspectos, en una cualquiera de las configuraciones anteriores (1) a (6), el frigorífico comprende además un alojamiento adiabático aislado térmicamente del exterior y que acomoda el expansor y el enfriador. Con la configuración anterior (7), el expansor y el enfriador se alojan en el alojamiento adiabático que se aísla térmicamente del exterior, y de ese modo es posible suprimir una disminución en la eficiencia adiabática del expansor y una disminución en el rendimiento de refrigeración del frigorífico debido a penetración de calor externo.

20 (8) en algunos aspectos, en una cualquiera de las configuraciones anteriores (1) a (7), el frigorífico comprende además una unidad de compresores que incluye: un segundo motor que tiene un árbol de salida conectado al compresor de fase baja y al compresor de fase alta; al menos un cojinete de tipo sin contacto dispuesto entre el compresor de fase baja y el compresor de fase alta, para soportar el árbol de salida del segundo motor sin estar en contacto con el árbol de salida; y una carcasa para alojar el compresor de fase baja, el compresor de fase alta, y el al menos un cojinete de tipo sin contacto. Con la configuración anterior (8), la unidad de compresores incluye el compresor de fase baja y el compresor de fase alta, y de ese modo es posible proporcionar al frigorífico una configuración simple y a costes bajos. Además, es posible impulsar el compresor de fase baja y el compresor de fase alta con un motor, y así es posible reducir la potencia requerida para impulsar los compresores en comparación con un caso en el que el compresor de fase baja y el compresor de fase alta son impulsados independientemente.

30 (9) en algunos aspectos, en la configuración anterior (8), el frigorífico comprende además un primer intercambiador de calor dispuesto en la línea de circulación de refrigerante entre el compresor de fase baja y el compresor de fase media, para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase baja; un segundo intercambiador de calor dispuesto en la línea de circulación de refrigerante entre el compresor de fase media y el compresor de fase alta, para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase media; y un tercer intercambiador de calor dispuesto en la línea de circulación de refrigerante entre el compresor de fase alta y el expansor, para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase alta. El primer intercambiador de calor, el segundo intercambiador de calor, y el tercer intercambiador de calor se disponen entre el compresor de expansor integrado y la unidad de compresores, para tener respectivamente direcciones longitudinales paralelas entre sí.

40 Con la configuración anterior (9), el primer intercambiador de calor, el segundo intercambiador de calor, y el tercer intercambiador de calor se disponen para tener respectivamente direcciones longitudinales paralelas entre sí, y así es posible reducir el espacio de instalación para los intercambiadores de calor. Además, los tres intercambiadores de calor se unifican para formar la unidad de intercambiadores de calor dispuesta entre el compresor de expansor integrado que incluye el compresor de fase media y la unidad de compresores que incluye el compresor de fase baja y el compresor de fase alta, y de ese modo es posible facilitar la instalación del sistema de tuberías que se va a conectar a los dispositivos anteriores, y reducir la longitud y así los costes del sistema de tuberías. Además, reducir la longitud del sistema de tuberías hace posible reducir la pérdida de presión del refrigerante que fluye a través del sistema de tuberías, y así mejorar el rendimiento de refrigeración del frigorífico.

50 (10) Un método para hacer funcionar un frigorífico según al menos un aspecto de la presente descripción es para un frigorífico que comprende: una parte de enfriamiento para enfriar un objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con un refrigerante; un compresor de expansor integrado que incluye un compresor para comprimir el refrigerante y un expansor para expandir el refrigerante, el compresor y el expansor que están integrados en el compresor de expansor integrado; y una línea de circulación de refrigerante configurada para hacer circular el refrigerante a través del compresor, el expansor y la parte de enfriamiento. El compresor incluye un compresor de fase baja, un compresor de fase media y un compresor de fase alta dispuestos en serie en la línea de circulación de refrigerante. El compresor de expansor integrado incluye: el compresor de fase media; un expansor para expandir y enfriar adiabáticamente el refrigerante descargado desde el compresor de fase media; un primer motor que tiene un árbol de salida conectado al compresor de fase media y al expansor; al menos un cojinete de tipo sin contacto, dispuesto entre el compresor de fase media y el expansor, para soportar el árbol de salida del primer motor sin estar en contacto con el árbol de salida; y una carcasa para alojar el compresor de fase media, el expansor o el al menos un cojinete de tipo sin contacto. La carcasa se configura para sellar una región entre el compresor de fase media y el expansor, de un espacio interior de la carcasa, del exterior de la carcasa. El método comprende: una etapa de

compresión para comprimir el refrigerante con los tres compresores; una etapa de expansión para expandir el refrigerante comprimido en la etapa de compresión con el expansor; una etapa de enfriamiento para enfriar el objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con el refrigerante expandido en la etapa de expansión; y una etapa de extracción para extraer, a través de una línea de extracción dispuesta para comunicar con la región dentro de la carcasa, al menos una parte de refrigerante que fuga que fluye desde un lado del compresor de fase media hacia el expansor dentro de la carcasa, desde la región dentro de la carcasa a la línea de circulación de refrigerante conectada a un lado de admisión o un lado de descarga del compresor fuera de la carcasa.

Según el método anterior (10), como la configuración anterior (1), si el refrigerante fugas desde el lado de compresor hacia el expansor, al menos una parte del refrigerante que fuga que fluye desde el lado de compresor hacia el expansor es extraído de la región a la línea de circulación de refrigerante conectada al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media fuera de la carcasa a través de la línea de extracción. Por consiguiente, incluso si el refrigerante está fugando desde el lado del compresor de fase media, es posible reducir aún más la cantidad de refrigerante que fluye hacia el expansor, y de ese modo suprimir aún más la transferencia de calor al expansor por medio del refrigerante que fuga. Así, es posible impedir una disminución en la eficiencia adiabática del expansor y el deterioro del rendimiento de refrigeración del frigorífico debido a fuga de fluido desde el lado de compresor.

Además, con la carcasa del compresor de expansor integrado, la región se sella del exterior de la carcasa de modo que al menos una parte del refrigerante que fuga por medio de la línea de extracción es el único flujo entre la región y el exterior de la carcasa. Así, básicamente, el líquido que fuga es la única causa de penetración de calor inesperada al expansor. Por consiguiente, con la línea de extracción que forma un flujo de refrigerante que guía al menos una parte del refrigerante que fluye desde el lado de compresor hacia el expansor en la región anterior a la línea de circulación de refrigerante, es posible impedir penetración de calor inesperada al lado de expansor y mejorar drásticamente el COP.

(11) en algunos aspectos, en el método anterior (10), la etapa de extracción incluye un primera etapa de ajuste de cantidad de extracción para ajustar una cantidad de extracción al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media sobre la base de un diferencial de presión entre una presión de una región más cerca del compresor de fase media que del expansor, en la región dentro de la carcasa, y una presión de una región más cerca del expansor que del compresor de fase media en la región. Según el método anterior (11), es posible predecir la cantidad de refrigerante que fuga desde el compresor de fase media hacia el expansor con precisión al detectar la diferencia de presión entre las dos regiones. Así, es posible suprimir la penetración de calor al expansor al extraer el refrigerante que fuga de la línea de extracción sobre la base de la diferencia de presión detectada anterior.

(12) en algunos aspectos, en el método anterior (10) o (11), la etapa de extracción incluye una segunda etapa de ajuste de cantidad de extracción para ajustar una cantidad de extracción al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media sobre la base de una diferencia de temperatura entre una temperatura de una región más cerca del compresor de fase media que del expansor, en la región dentro de la carcasa, y una temperatura de una región más cerca del expansor que del compresor de fase media en la región. Según el método anterior (12), es posible predecir la cantidad de refrigerante que fugas desde el compresor de fase media hacia el expansor con precisión al detectar la diferencia de temperatura entre las dos regiones. Así, es posible suprimir la penetración de calor al expansor al extraer el refrigerante que fuga de la línea de extracción sobre la base de la diferencia de temperatura detectada anterior.

(13) en algunos aspectos, en uno cualquiera de los métodos anteriores (10) a (12), la etapa de extracción incluye una tercera etapa de ajuste de cantidad de extracción para ajustar una cantidad de extracción desde la región dentro de la carcasa al lado de admisión del compresor sobre la base de al menos uno del COP del frigorífico o una diferencia de temperatura de refrigerante entre un lado de admisión y un lado de descarga del expansor. Según el método anterior (13), es posible mejorar el COP del frigorífico al ajustar la cantidad de extracción sobre la base de al menos uno del COP de frigorífico o una diferencia de temperatura de refrigerante entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor.

(14) en algunos aspectos, en uno cualquiera de los métodos anteriores (10) a (13), el compresor de fase media comprende un compresor centrífugo que incluye un impulsor de compresor fijado a un extremo del primer motor.

El expansor comprende un expansor centrífugo que incluye un impulsor de turbina fijado a otro extremo del primer motor. La etapa de compresión y la etapa de expansión incluyen ajustar presiones para que sean sustancialmente iguales en un lado posterior del impulsor de compresor y en un lado posterior del impulsor de turbina. Según el método (14) anterior, es posible suprimir fuga de un refrigerante a alta temperatura desde el lado de cara posterior del impulsor de compresor hacia el expansor, al igualar la presión de lado de cara posterior del impulsor de compresor y la presión de lado de cara posterior del impulsor de turbina.

55 Efectos ventajosos

Según al menos una realización de la presente invención, es posible suprimir la penetración de calor a un expansor debido a un refrigerante que fuga desde el lado de compresor dentro de una carcasa de un compresor de expansor integrado, y de ese modo es posible mejorar la eficiencia adiabática del expansor y el rendimiento de refrigeración

(capacidad de refrigeración, COP) del frigorífico.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de sistema de un frigorífico según una realización.

La figura 2 es un diagrama de sistema de un frigorífico según una realización.

5 La figura 3 es una vista en sección transversal vertical de un compresor de expansor integrado según una realización.

La figura 4 es un diagrama de flujo de un método para hacer funcionar un frigorífico según una realización.

La figura 5 es un diagrama de sistema de una parte de un frigorífico según una realización.

La figura 6 es un diagrama de sistema de un frigorífico según un ejemplo comparativo.

La figura 7 es un diagrama de sistema de un frigorífico según un ejemplo comparativo.

10 Descripción detallada

Con referencia a los dibujos adjuntos, se describirán algunas realizaciones de las presentes realizaciones. Se pretende que, sin embargo, a menos que se especifique particularmente, dimensiones, materiales, formas, posiciones relativas y similares de componentes descritos en las realizaciones o ilustrados en los dibujos sean interpretados como ilustrativos únicamente y no pretenden limitar el alcance de la presente invención. Por ejemplo, una expresión de disposición relativa o absoluta tal como “en una dirección”, “a lo largo de una dirección”, “paralelo”, “ortogonal”, “centrado”, “concéntrico” y “coaxial” no se interpretará como que indica únicamente la disposición en un sentido literal estricto, sino que también incluye un estado donde la disposición es desplazada relativamente una tolerancia, o un ángulo o una distancia por lo que es posible lograr la misma función. Por ejemplo, una expresión de un estado igual tal como “mismo”, “igual” y “uniforme” no se debe interpretar como que indica únicamente el estado en el que el rasgo es estrictamente igual, sino que también incluye un estado en el que hay una tolerancia o una diferencia que todavía puede lograr la misma función. Además, por ejemplo, una expresión de una forma tal como una forma rectangular o una forma cilíndrica no se interpretarán como únicamente la forma geoméricamente estricta, sino también incluye una forma con irregularidad o esquinas achaflanadas dentro del intervalo en el que se puede lograr el mismo efecto. Por otro lado, una expresión tal como “comprender”, “incluir”, “tener”, “contener” y “constituir” no está pensada para ser exclusiva de otros componentes.

Las figuras 1 y 2 son diagramas de un frigorífico 10 (10A, 10B) según algunas realizaciones. El frigorífico 10 (10A, 10B) incluye una parte de enfriamiento 12 que enfría un objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con un refrigerante, un compresor de expansor integrado 14, y una línea de circulación de refrigerante 16. El compresor de expansor integrado 14 incluye un compresor de fase media C2 para comprimir el refrigerante, y un expansor T para expandir el refrigerante, que se integran en el compresor de expansor integrado 14. Una línea de circulación de refrigerante 16 se configura para hacer circular el refrigerante a través de los compresores C1, C2, C3, el expansor T y la parte de enfriamiento 12. Los compresores proporcionados para el frigorífico 10 (10A, 10B) incluyen un compresor de fase baja C1, un compresor de fase media C2, y un compresor de fase alta C3 que se disponen en serie en la línea de circulación de refrigerante 16.

Como se representa en la figura 3, el compresor de expansor integrado 14 según al menos una realización incluye: el compresor de fase media C2; el expansor T; el primer motor M1; al menos un cojinete de tipo sin contacto 22, 24, 26; y una carcasa 28 que aloja el compresor de fase media C2, el expansor T, y el al menos un cojinete sin contacto. El expansor T expande y enfría adiabáticamente un refrigerante descargado desde el compresor de fase alta C3. Un árbol de salida 20a del primer motor M1 se conecta al compresor de fase media C2 y al expansor T. El al menos un cojinete sin contacto 22, 24, 26 se dispone entre el compresor de fase alta C3 y el expansor T, y soporta el árbol de salida 20a sin hacer contacto con el árbol de salida 20a. En la realización representada, el compresor de fase media C2 y el expansor T se disponen en cada parte extrema del árbol de salida 20a.

El compresor de fase media C2 y el expansor T son impulsados por el primer motor M1. El compresor de fase media C2 se configura para comprimir el refrigerante r, y el expansor T expande el refrigerante r. La energía de presión del refrigerante r se utiliza como potencia de asistencia para el compresor de fase media C2, y de ese modo es posible reducir la potencia del primer motor M1.

En el frigorífico 10 (10A, 10B) representado en las figuras 1 y 2, el refrigerante circula a través de la línea de circulación de refrigerante 16. Como realización ejemplar del frigorífico 10 (10A, 10B), el primer intercambiador de calor Hx1 se dispone en la línea de circulación de refrigerante 16 entre el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase media C2, para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase baja C1. Además, el segundo intercambiador de calor Hx2 se dispone en la línea de circulación de refrigerante 16 entre el compresor de fase media C2 y el compresor de fase alta C3, para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase media C2. Además, el tercer intercambiador de calor Hx3 se dispone en la línea de circulación de refrigerante 16 entre el compresor de fase alta C3 y el expansor T, para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase alta C3.

La única fase comprimida de refrigerante por el compresor de fase baja C1 es enfriada por el primer intercambiador de calor Hx1, y se envía al compresor de fase media C2 para ser comprimida aún más por el compresor de fase media C2. El refrigerante comprimido por el compresor de fase media C2 es enfriado por el segundo intercambiador de calor Hx2, y es comprimido por el compresor de fase alta C3. El refrigerante comprimido por el compresor de fase alta C3 es enfriado por el tercer intercambiador de calor Hx3, y es enfriado aún más por un intercambiador de calor de recuperación de frío 30, antes de ser enviado al expansor T. El refrigerante rota el expansor T, y la energía de presión del refrigerante se utiliza como energía de asistencia para el compresor de fase media C2, el propio refrigerante se expande para disminuir en presión y temperatura. El refrigerante a baja presión y baja temperatura se envía a la parte de enfriamiento 12. La parte de enfriamiento 12 incluye un intercambiador de calor, por ejemplo, y enfría un objeto que va a ser enfriado con el refrigerante. Entonces, el refrigerante se envía al intercambiador de calor de recuperación de frío 30 para enfriar un refrigerante que va a ser enviado al expansor T, y vuelve al compresor de fase baja C1.

En una realización ejemplar, un objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con el refrigerante en la parte de enfriamiento 12 es nitrógeno líquido para enfriar un dispositivo superconductor 32 tal como un cable superconductor.

En la realización ejemplar representada en la figura 1, una línea de circulación de nitrógeno líquido 34 se dispone para circular a través de la parte de enfriamiento 12, el dispositivo superconductor 32 y un tanque de reservorio 36. Una bomba de nitrógeno líquido 38 se dispone en la línea de circulación de nitrógeno líquido 34, y nitrógeno líquido enfriado a una temperatura extremadamente baja en la parte de enfriamiento 12 se circula al dispositivo superconductor 32.

En este caso, el dispositivo superconductor 32 entra a un estado superconductor, y así necesita ser enfriado a una temperatura extremadamente baja. Así, el refrigerante está a una temperatura extremadamente baja en el lado de descarga del expansor T, y así hay una gran diferencia de temperatura entre el lado de descarga del compresor de fase media C2 y el lado de descarga del expansor 18, dentro de la línea de circulación de refrigerante 16. Por ejemplo, en una realización, mientras la temperatura es aproximadamente de 30 a 40 °C en el lado de admisión del compresor de fase media C2 y aproximadamente de 90 a 100 °C en el lado de descarga, la temperatura es aproximadamente de menos 190 a menos 200 °C en el lado de admisión y aproximadamente de menos 210 °C a menos 220 °C en el lado de descarga del expansor 18. Por consiguiente, si el refrigerante fuga desde el lado del compresor de fase media C2 hacia el expansor 18, el rendimiento de refrigeración del frigorífico 10 (10A, 10B) disminuye. Además, un refrigerante que fluye a través de la línea de circulación de refrigerante 16 se puede seleccionar según un objetivo de temperatura de enfriamiento del objeto que va a ser enfriado, por ejemplo, entre helio, neón, hidrógeno, nitrógeno, aire, hidrocarburo, o algo semejante, por ejemplo.

En una realización ejemplar, como se representa en las figuras 1 y 2, una línea de baipás 16a se conecta a la línea de circulación de refrigerante 16 en el lado de salida del tercer intercambiador de calor Hx3 y en el lado de entrada del compresor de fase baja C1. Un tanque de almacenamiento intermedio 40 que puede almacenar el refrigerante temporalmente se dispone en la línea de baipás 16a. Válvulas de apertura-cierre 42 y 44 se disponen aguas arriba y aguas abajo del tanque de almacenamiento intermedio 40. Es posible ajustar la cantidad de refrigerante que circula a través de la línea de circulación de refrigerante 16 al almacenar el refrigerante en el tanque de almacenamiento intermedio 40 temporalmente. Además, el primer intercambiador de calor Hx1, el segundo intercambiador de calor Hx2 y el tercer intercambiador de calor Hx3 reciben suministro con agua refrigerante w, por ejemplo, como medio de enfriamiento para enfriar el refrigerante.

En una realización ejemplar del compresor de expansor integrado 14, como se representa en la figura 3, el árbol de salida 20a del primer motor 20 es soportado sin contacto por cojinetes magnéticos radiales 22, 24 y un cojinete magnético de empuje 26 dispuesto entre el compresor de fase media C2 y el expansor T. Los cojinetes magnéticos radiales 22 y 24 se disponen en cada lado del primer motor M1, para hacer levitar el árbol de salida 20a con una fuerza magnética y para soportar la carga radial del árbol de salida 20a. El cojinete magnético de empuje 26 se dispone entre el primer motor M1 y el expansor T para soportar la carga de empuje del árbol de salida 20a con una fuerza magnética de modo que se forma una holgura entre el cojinete magnético de empuje 26 y un disco de rotor 50 dispuesto en el árbol de salida 20a.

En una realización ejemplar, el compresor de fase media C2 es un compresor centrífugo que incluye un impulsor de compresor 52 fijado a un extremo del primer motor M1, y el expansor T es un expansor centrífugo que incluye un impulsor de turbina 54 fijado al otro extremo del primer motor M1. El impulsor de compresor 52 y el rotor de turbina 54 se disponen ambos en el camino de flujo del refrigerante r. Un estator 20b se dispone alrededor del árbol de salida 20a.

Como se representa en la figura 3, en una realización ejemplar, una línea de extracción 56 (56') se forma a través del compresor de expansor integrado 14. La línea de extracción 56 (o 56') se dispone para comunicar con una región "Is" del espacio interior de la carcasa 28, que se dispone entre el compresor de fase media C2 y el expansor T. A través de la línea de extracción 56 (56'), al menos una parte del refrigerante que fuga r0 que fluye desde el lado del compresor de fase media C2 hacia el expansor T dentro de la carcasa 28 es extraída de la región "Is" a la línea de circulación de refrigerante 16 conectada al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2 fuera de la carcasa 28. Además, la carcasa 28 se configura para sellar la región "Is" del exterior de la carcasa 28 de modo que al menos una parte del flujo del refrigerante que fuga r por medio de la línea de extracción 56 es el único flujo entre la

región "Is" y el exterior de la carcasa 28.

En una realización ejemplar, como se representa en la figura 3, dispuesta dentro de la carcasa 28 hay una parte de junta de sellado 62 para restringir la fuga del refrigerante r desde el compresor de fase media C2 a la carcasa, y una parte de junta de sellado 64 para restringir la fuga del refrigerante r desde el expansor T a la carcasa 28. Las partes de junta de sellado 62 y 64 pueden ser juntas de sellado en laberinto. En este caso, como se representa en la figura 3, las juntas de sellado en laberinto se pueden disponer en el lado posterior del impulsor de compresor 52 o del impulsor de turbina 54, entre la carcasa 28 y el impulsor de compresor 52 o el impulsor de turbina 54, y alrededor del árbol de salida 20a y entre el árbol de salida 20a y la carcasa 28.

Si una diferencia de presión se vuelve mayor entre el lado de compresor de fase media y el lado de expansor dentro de la región "Is", las partes de junta de sellado 62 y 64 pueden fallar en impedir completamente la fuga del refrigerante desde el lado del compresor de fase media a la carcasa. Tras entrar a la región "Is", el refrigerante que fuga r0 pasa a través de la holgura entre el árbol de salida 20a y los cojinetes de tipo sin contacto 22, 24, y 26, y fuga al lado de expansor donde la temperatura de funcionamiento es menor que en el lado de compresor de fase media. Por consiguiente, penetra calor al expansor T, y la eficiencia adiabática del expansor se puede deteriorar. Así, el refrigerante que fuga r0 es descargado a la línea de circulación de refrigerante 16 en el lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2 o a la línea de circulación de refrigerante 16 en el lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase baja C1 a través de la línea de extracción 56 (56'), suprimiendo de ese modo la penetración de calor hacia el expansor. En la realización ejemplar representada en la figura 3, la línea de extracción 56 (56') se extiende en la dirección radial para penetrar a través de la carcasa 28. La posición direccional axial de la línea de extracción 56 (56') no está particularmente limitada, y se puede disponer a lo largo de la dirección axial del árbol de salida 20a.

En una realización ejemplar, como se representa en la figura 3, además se proporciona un manómetro para detectar un diferencial de presión entre una presión de una región de la región "Is" más cerca del compresor de fase media C2 que del expansor T y una presión de una región de la región "Is" más cerca del expansor T que del compresor de fase media C2. La presencia o ausencia y la cantidad del refrigerante que fuga r0 se pronostican sobre la base del diferencial de presión detectada por el manómetro. En la realización representada, se proporciona un manómetro 66 para detectar una presión de una región de la región "Is" más cerca del compresor de fase media C2 que del expansor T, y se proporciona un manómetro 68 para detectar una presión de una región de la región "Is" más cerca del expansor T que del compresor de fase media C2. Los valores de detección de los manómetros se introducen al controlador 60, que obtiene un diferencial de presión entre los mismos, y la presencia o ausencia y la cantidad del refrigerante que fuga r0 se pronostican sobre la base del diferencial de presión.

En una realización ejemplar, como se representa en la figura 3, además se proporciona un termómetro para detectar una diferencia de temperatura entre una temperatura de una región de la región "Is" más cerca del compresor de fase media C2 que del expansor T y una temperatura de una región de la región "Is" más cerca del expansor T que del compresor de fase media C2. En la realización representada, se proporciona un termómetro 70 para detectar una temperatura de una región de la región "Is" más cerca del compresor de fase media C2 que del expansor T, y se proporciona un termómetro 72 para detectar una temperatura de una región de la región "Is" más cerca del expansor T que del compresor de fase media C2. Los valores de detección de los termómetros se introducen al controlador 60, que obtiene una diferencia de temperatura entre los mismos, y la presencia o ausencia y la cantidad del refrigerante que fuga r0 se pronostican sobre la base de la diferencia de temperatura. En la realización representada en la figura 3, se proporcionan los manómetros 66, 68 y los termómetros 70, 72. Sin embargo, el compresor de expansor integrado 14 puede incluir ya sea los sensores de presión o los termómetros.

En una realización ejemplar, como se representa en las figuras 1 y 3, el compresor de expansor integrado 14 incluye además una válvula de extracción 58, dispuesta en la línea de extracción 56, para ajustar la cantidad de extracción del refrigerante que fuga r0. En una realización ejemplar, como se representa en la figura 3, se proporciona además un controlador 60 para controlar el grado de apertura de la válvula de extracción 58 sobre la base de los valores de detección de los manómetros 66 y 68 y de los termómetros 70 y 72. Por consiguiente, es posible controlar la cantidad de extracción del refrigerante que fuga r0 sobre la base de la presencia o ausencia y la cantidad del refrigerante que fuga r0.

En una realización ejemplar, como se representa en las figuras 1 y 2, el expansor T y la parte de enfriamiento 12 se alojan en un alojamiento adiabático 74 que se aísla térmicamente de exterior. En la realización representada, el intercambiador de calor de recuperación de frío 30 también se aloja dentro del alojamiento sellado 74.

En una realización ejemplar, como se representa en la figura 1, se proporciona una unidad de compresores 76, que incluye el compresor de fase baja C1, el compresor de fase alta C3, el segundo motor M2, el al menos un cojinete de tipo sin contacto 22, 24 y 26, y la carcasa 28 para alojar estos dispositivos. El árbol de salida 78 del segundo motor M2 se conecta al compresor de fase baja C1 y el compresor de fase alta C3, y el al menos un cojinete de tipo sin contacto 22, 24, y 26 comprende, por ejemplo, cojinetes magnéticos radiales y un cojinete magnético de empuje que soportan el árbol de salida 78 sin hacer contacto. La carcasa 28 y los cojinetes de tipo sin contacto 22, 24, 26 para la unidad de compresores 76 pueden tener la misma configuración que la carcasa 28 y los cojinetes de tipo sin contacto 22, 24, 26 para el compresor de expansor integrado 14, o pueden no tener necesariamente la misma configuración.

En una realización ejemplar, como se representa en la figura 2, el primer intercambiador de calor Hx1, el segundo intercambiador de calor Hx2 y el tercer intercambiador de calor Hx3 se disponen entre el compresor de expansor integrado 14 y la unidad de compresores 76, para tener respectivamente direcciones longitudinales paralelas entre sí, formando así una unidad de intercambiadores de calor 80, por ejemplo.

5 En una realización ejemplar, como se representa en la figura 1, el controlador 60 se configura para controlar el grado de apertura de la válvula de extracción 58 sobre la base de al menos uno del COP del frigorífico 10 (10A) o la diferencia de temperatura de refrigerante entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T. El COP de frigorífico se puede calcular al medir la potencia (consumo de potencia) del primer motor M1 y del segundo motor M2, por ejemplo. En este caso, la potencia se mide mediante dinamómetros 82 y 84, y los resultados de medición se envían al controlador 60. Las temperaturas del lado de admisión y el lado de descarga del expansor T se miden mediante el termómetro 86 dispuesto en el lado de admisión del expansor 6 y el termómetro 88 dispuesto en el lado de descarga del expansor T, en la línea de circulación de refrigerante 22, y los resultados de medición se envían al controlador 60. El controlador 60 calcula la diferencia de temperatura de refrigerante entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T a partir de las temperaturas medidas por los termómetros 86 y 88.

15 Además, en la línea de extracción 56 (56') se dispone un caudalímetro 90, y detecta la cantidad de extracción de refrigerante que fuga extraído a la línea de circulación de refrigerante 16 conectada al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2 fuera de la carcasa desde la región "Is". Los resultados de detección se envían al controlador 60. Además, el caudalímetro 92 dispuesto en la línea de circulación de refrigerante 16 detecta la cantidad de circulación de refrigerante.

20 En una realización ejemplar, el controlador 60 se configura para ajustar la cantidad de extracción desde la región "Is" dentro de la carcasa del compresor de expansor integrado 14 al lado de admisión del compresor de fase media C2, sobre la base de mediciones sobre el caudal de refrigerante que fuga en la línea de extracción 56, la potencia del primer motor M1 y el segundo motor M2, el COP del frigorífico 10 (10A), la diferencia de temperatura de refrigerante entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T, o algo semejante. Además, el COP de frigorífico se puede obtener del COP estándar de consumo de potencia (COP_p) obtenido por la expresión anterior (1), o del COP estándar de potencia de compresión (COP_c) obtenido por la expresión anterior (2). En las expresiones anteriores (1) y (2), G es el caudal másico [kg/s] de refrigerante que circula a través de la línea de circulación de refrigerante 16; P es la suma de potencia (consumo de potencia) [W] del primer motor M1 y el segundo motor M2; h_1 es la suma de entalpía de entrada [J/kg] del compresor de fase baja C1, el compresor de fase media C2 y el compresor de fase alta C3; h_2 es la suma de entalpía de salida [J/kg] del compresor de fase baja C1, el compresor de fase media C2 y el compresor de fase alta C3; h_5 es la entalpía de entrada [J/kg] del intercambiador de calor para la parte de enfriamiento 12; y h_6 es la entalpía de salida [J/kg] del intercambiador de calor para la parte de enfriamiento 12.

En una realización ejemplar, el controlador 60 incluye una memoria que almacena información sobre condiciones de funcionamiento para el frigorífico 10 (10A) que incluye al menos uno de un objetivo de COP de frigorífico o la diferencia de temperatura entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T, y ajusta la cantidad de extracción al controlar el grado de apertura de la válvula de extracción 58 para satisfacer las condiciones de funcionamiento anteriores, sobre la base del resultado de detección de al menos uno del COP de frigorífico calculado por los dinamómetros 82, 84 o algo semejante (más adelante en esta memoria, también se le hace referencia como "COP de frigorífico de medición") o de los termómetros 86, 88. El controlador 60 puede determinar el valor de mando de grado de apertura de la válvula de extracción 58 sobre la base de una diferencia entre información que indica las condiciones de funcionamiento del frigorífico 10 (10A) almacenadas en la memoria y el resultado de detección de al menos uno del COP de frigorífico de medición o de los termómetros 86, 88. En este caso, el controlador 60 puede incluir un controlador P, un controlador PI, un controlador PID, o algo semejante, para determinar el valor de mando de grado de apertura para la válvula de extracción 58.

45 Además, las condiciones de funcionamiento del frigorífico 10 (10A) que maximizan el COP pueden variar según las cargas de enfriamiento de la parte de enfriamiento 12. En este caso, el controlador 60 puede ajustar la cantidad de extracción sobre la base del resultado de detección de al menos uno del COP de frigorífico de medición o de los termómetros 86, 88, para satisfacer las condiciones de funcionamiento correspondientes a las cargas de enfriamiento de la parte de enfriamiento 12. Las entalpías h_1 , h_2 , h_5 y h_6 , se obtienen respectivamente a partir de los valores de medición de las presiones P_1 , P_2 , P_5 y P_6 y las temperaturas T_1 , T_2 , T_5 y T_6 , en puntos respectivos. Además, el frigorífico 10 (10A) puede incluir un caudalímetro (no representado) para medir el caudal másico de refrigerante que circula a través de la línea de circulación de refrigerante 16, o termómetros (no representados) y manómetros (no representados) para medir temperaturas y presiones, respectivamente, de la entrada y la salida de cada compresor y de la entrada y la salida de la parte de enfriamiento 12.

55 En otra realización, el controlador 60 incluye una memoria que almacena información sobre al menos uno del objetivo de COP de frigorífico o el valor máximo de la diferencia de temperatura entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T, y ajusta la cantidad de extracción al controlar el grado de apertura de la válvula de extracción 58 de modo que el resultado de detección de al menos uno del COP de frigorífico de medición o los termómetros 86, 88 se acerca al objetivo de COP de frigorífico o el valor máximo de la diferencia de temperatura entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T. El controlador 60 puede determinar el valor de mando de grado de apertura de la válvula de extracción 58 sobre la base de la diferencia entre el objetivo de COP de frigorífico almacenado en la memoria

o información que indica el valor máximo de la diferencia de temperatura entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T y el resultado de detección de al menos uno del COP de frigorífico de medición o los termómetros 86, 88. En este caso, el controlador 60 puede incluir un controlador P, un controlador PI, un controlador PID, o algo semejante, para determinar el valor de mando de grado de apertura para la válvula de extracción 58.

- 5 En una realización ejemplar, el controlador 60 se configura para ajustar la cantidad de extracción desde la región "Is" dentro de la carcasa al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2, para no superar el límite superior de la cantidad de extracción determinada para no superar la tolerancia de las cargas (cargas de empuje) del cojinete magnético de empuje 26.

10 Como se representa en la figura 4, un método para hacer funcionar un frigorífico según al menos una realización incluye una etapa de compresión S10, una etapa de expansión S12, una etapa de enfriamiento S14 y una etapa de extracción S16. En la etapa de compresión S10, el compresor de fase baja C1, el compresor de fase media C2 y el compresor de fase alta C3 comprimen el refrigerante. En la etapa de expansión S12, el expansor T expande el refrigerante comprimido en la etapa de compresión S10. En la etapa de enfriamiento S14, un objeto que va a ser enfriado es enfriado en la parte de enfriamiento 12 a través de intercambio de calor con un refrigerante expandido por el expansor T2. En la etapa de extracción S16, a través de la línea de extracción 56 (56') dispuesta para comunicar con la región "Is" dentro de la carcasa del compresor de expansor integrado 14, al menos una parte del refrigerante que fuga r0 que fluye desde el compresor de fase media C2 hacia el expansor T es extraída de la región "Is" dentro de la carcasa a la línea de circulación de refrigerante 16 conectada al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2 fuera de la carcasa.

20 En una realización ejemplar, como se representa en la figura 4, la etapa de extracción S16 incluye un primera etapa de ajuste de cantidad de extracción S16a para ajustar la cantidad de extracción al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2 sobre la base de la diferencia de presión entre la presión de una región más cerca del compresor de fase media 16 que del expansor T, de la región "Is" dentro de la carcasa del compresor de expansor integrado 14, y la presión de una región más cerca del expansor T que del compresor de fase media 16, de la región "Is". Las presiones de las dos regiones anteriores son detectadas por los manómetros 66 y 68 representados en la figura 3, por ejemplo.

30 En una realización ejemplar, como se representa en la figura 4, la etapa de extracción S16 incluye una segunda etapa de ajuste de cantidad de extracción S16b para ajustar la cantidad de extracción al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2 sobre la base de la diferencia de temperatura entre la temperatura de una región más cerca del compresor de fase media 16 que del expansor T, de la región "Is" dentro de la carcasa del compresor de expansor integrado 14, y la temperatura de una región más cerca del expansor T que del compresor de fase media 16, de la región "Is". Las temperaturas de las dos regiones anteriores son detectadas por termómetros 70 y 72 representados en la figura 3, por ejemplo.

35 En una realización ejemplar, como se representa en la figura 4, la etapa de extracción S16 incluye una tercera etapa de ajuste de cantidad de extracción S16c para ajustar la cantidad de extracción desde la región "Is" dentro de la carcasa del compresor de expansor integrado 14 al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media C2, sobre la base de al menos uno del COP del frigorífico 10 (10A) o la diferencia de temperatura de refrigerante entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T. De las tres etapas anteriores que incluyen la primera etapa de ajuste de cantidad de extracción S16a, la segunda etapa de ajuste de cantidad de extracción S16b, y la tercera etapa de ajuste de cantidad de extracción S16c, al menos una de las etapas se puede realizar, o se pueden realizar juntas dos o más etapas. Además, el orden para realizar las etapas S16a a S16c no se limita al mostrado en el dibujo.

45 En una realización ejemplar, como se representa en la figura 3, el compresor de fase media 16 es un compresor centrífugo que incluye un impulsor de compresor 52 fijado a un extremo del primer motor M1, y el expansor T es un expansor centrífugo que incluye un impulsor de turbina 54 fijado al otro extremo del primer motor M1. En la etapa de compresión S10 y la etapa de expansión S12, las presiones se ajustan para ser sustancialmente iguales en el lado posterior del impulsor de compresor 52 y en el lado posterior del impulsor de turbina 54.

50 En algunas realizaciones, como se representa en las figuras 1 y 2, el compresor de fase media C2 y el expansor T se integran en el compresor de expansor integrado 14, y de ese modo es posible reducir o eliminar sustancialmente la diferencia de presión entre la presión estática de salida del compresor de fase media C2 y la presión estática de entrada del expansor T durante funcionamiento normal. Por consiguiente, es posible restringir la cantidad de refrigerante que fuga desde el compresor de fase media C2 al expansor T, suprimiendo así la penetración de calor, y suprimir el deterioro de la eficiencia adiabática del expansor T y del rendimiento de refrigeración del frigorífico 10 (10A, 10B).

55 En la realización ejemplar, como se representa en las figuras 1 y 3, en caso de que el refrigerante todavía esté fugando desde el compresor de fase media C2 al expansor T, al menos una parte del refrigerante que fuga r0 es extraída afuera de la carcasa de la región "Is" a través de la línea de extracción 56 (56'), y de ese modo es posible reducir aún más la cantidad de refrigerante que fluye entrando al lado de expansor. En una realización ejemplar, como se representa en la figura 1, es posible predecir la presencia o ausencia y la cantidad de fuga del refrigerante que fuga r0 al detectar la

diferencia de presiones o temperaturas entre el lado de compresor de fase media y el lado de expansor, dentro de la región "Is". Es posible suprimir la penetración de calor al expansor T al controlar el funcionamiento del frigorífico 10 (10A) o al ajustar la cantidad de extracción a través de la línea de extracción 56 (56'), sobre la base de la predicción.

5 En una realización ejemplar, como se representa en las figuras 1 y 3, la válvula de extracción 58 se dispone en la línea de extracción 56 (56'), y se proporciona el controlador 60 para controlar el grado de apertura de la válvula de extracción 58 sobre la base de la diferencia de presión o la diferencia de temperatura, y de ese modo es posible suprimir eficientemente la penetración de calor al expansor T. En una realización ejemplar, como se representa en la figura 1, el controlador 60 controla el grado de apertura de la válvula de extracción 58 sobre la base de al menos uno del COP del frigorífico 10 (10A) o la diferencia de temperatura de refrigerante entre el lado de admisión y el lado de descarga del expansor T, y de ese modo es posible controlar la cantidad de extracción a tal valor que maximiza el COP según las condiciones de funcionamiento, y de ese modo mejorar el COP del frigorífico 10 (10A).

10 En una realización ejemplar, el expansor T y la parte de enfriamiento 12, así como el intercambiador de calor de recuperación de frío 30, se alojan en el alojamiento adiabático 74, y de ese modo es posible suprimir deterioro de la eficiencia adiabática del expansor T y del rendimiento de refrigeración del frigorífico 10 (10A) debido a penetración de calor desde el exterior. En una realización ejemplar, la unidad de compresores 76 incluye el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase alta C3 integrados en la misma, y de ese modo es posible proporcionar al frigorífico 10 (10A, 10B) una configuración simple y a costes bajos. Además, es posible impulsar el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase alta C3 con un motor, y así es posible reducir la potencia requerida para impulsar los compresores en comparación con un caso en el que el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase alta C3 son impulsados independientemente.

15 En una realización ejemplar, como se representa en la figura 2, el primer intercambiador de calor Hx1, el segundo intercambiador de calor Hx3 y el tercer intercambiador de calor Hx3 se disponen para tener respectivamente direcciones longitudinales paralelas entre sí, y así es posible reducir el espacio de instalación para los intercambiadores de calor. Además, los intercambiadores de calor se unifican para formar la unidad de intercambiadores de calor 80 dispuesta entre el compresor de expansor integrado 14 y la unidad de compresores 76, y de ese modo es posible facilitar la instalación del sistema de tuberías que se va a conectar entre los intercambiadores de calor, y reducir la longitud y así los costes del sistema de tuberías. Además, reducir la longitud del sistema de tuberías hace posible reducir la pérdida de presión del refrigerante que fluye a través del sistema de tuberías, y así mejorar el rendimiento de refrigeración del frigorífico 10 (10A, 10B). Además, es posible proporcionar el tanque de almacenamiento intermedio 40 al tiempo que se ahorra espacio, y el sistema de tuberías se puede conectar más fácilmente.

20 La figura 6 es un diagrama de la disposición de dispositivo de un frigorífico 100 de un ejemplo comparativo. En el frigorífico 100, el tercer intercambiador de calor Hx3 forma una unidad 102 con la unidad de compresores 76, y la unidad de intercambiadores de calor 104 incluye únicamente el primer intercambiador de calor Hx1 y el segundo intercambiador de calor Hx2. En el frigorífico 100, la unidad de compresores 102 ocupa un mayor espacio, y el espacio de instalación de la unidad de intercambiadores de calor 104 no se puede reducir. Además, los dispositivos se conectan mediante un sistema de tuberías de mayor longitud, lo que puede aumentar la pérdida de presión de refrigerante que fluye a través del sistema de tuberías y deteriorar el rendimiento del frigorífico 100.

25 Además, como se representa en la figura 7, para el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase media C2 integrados en la unidad de compresores 106, se necesita instalar una longitud más larga de sistema de tuberías que para el frigorífico 100, para conectar el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase media C2 al primer intercambiador de calor Hx1 y el segundo intercambiador de calor Hx2 con sistema de tuberías. Además, se requiere un mayor espacio para instalar el sistema de tuberías y la longitud del sistema de tuberías aumenta, lo que puede aumentar la pérdida de presión de refrigerante que fluye a través del sistema de tuberías y deteriorar el rendimiento del frigorífico 100.

30 La figura 5 es un diagrama de configuración del compresor de fase baja C1 y el compresor de fase alta C3 según una realización de la presente invención. En la presente realización, el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase alta C3 se equipan con respectivos motores dedicados M3 y M4. Los motores M3 y M4 incluyen respectivos dinamómetros 94 y 96, y los valores de detección de los dinamómetros se introducen al controlador 60. La configuración de la presente realización es de otro modo la misma que la de la realización anterior en la figura 1. Según la presente realización, el compresor de fase baja C1 y el compresor de fase alta C3 pueden ser impulsados a velocidades de rotación de motor únicas respectivas, y de ese modo pueden funcionar en condiciones de funcionamiento óptimas para cada compresor.

Aplicabilidad industrial

35 Según al menos una realización de la presente invención, es posible proporcionar un frigorífico de ciclo Brayton provisto de un compresor de expansor integrado, por lo que es posible suprimir fuga de refrigerante desde un compresor hacia un expansor, y de ese modo suprimir el deterioro de la eficiencia adiabática del expansor y del rendimiento de refrigeración del frigorífico.

Descripción de numerales de referencia

- 10 (10A, 10B), 100 Frigorífico
- 12 Parte de enfriamiento
- 14 Compresor de expansor integrado
- 5 16 Línea de circulación de refrigerante
- 16a Línea de baipás
- 20a, 78 Árbol de salida
- 20b Estator
- 22, 24, 26 Cojinetes de tipo sin contacto
- 10 28 Carcasa
- 30 Intercambiador de calor de recuperación de frío
- 32 Dispositivo superconductor
- 34 Línea de circulación de nitrógeno líquido
- 36 Tanque de reservorio
- 15 38 Bomba de nitrógeno líquido
- 40 Tanque de almacenamiento intermedio
- 42, 44 Válvula de apertura-cierre
- 50 Disco de rotor
- 52 Impulsor
- 20 54 Rotor de turbina
- 56, 56' Línea de extracción
- 58 Válvula de extracción
- 60 Controlador
- 62, 64 Parte de junta de sellado
- 25 66, 68 Manómetro
- 70, 72, 86, 86 Termómetro
- 74 Alojamiento adiabático
- 76, 102 Unidad de compresores
- 80, 104 Unidad de intercambiadores de calor
- 30 82, 84, 94, 96 Dinamómetro
- 90, 92 Caudalímetro
- C1 Compresor de fase baja
- C2 Compresor de fase media
- C3 Compresor de fase alta
- 35 Hx1 Primer intercambiador de calor
- Hx2 Segundo intercambiador de calor

Hx3 Tercer intercambiador de calor

Is Región

M1 Primer motor

M2 Segundo motor

5 T Expansor r Refrigerante

r0 Refrigerante que fuga

w Agua refrigerante

REIVINDICACIONES

1. Un frigorífico (10), que comprende:

5 una parte de enfriamiento (12) para enfriar un objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con un refrigerante (r);

un compresor de expansor integrado (14); y

10 una línea de circulación de refrigerante (16) configurada para hacer circular el refrigerante (r) a través del compresor de expansor integrado (14) y la parte de enfriamiento (12),

en donde un compresor de fase baja (C1), un compresor de fase media (C2) y un compresor de fase alta (C3) se disponen en serie en la línea de circulación de refrigerante (16),

en donde el compresor de expansor integrado (14) incluye:

15 el compresor de fase media (C2);

un expansor (T) para expandir y enfriar adiabáticamente el refrigerante (r) descargado desde el compresor de fase alta (C3);

20 un primer motor (M1) que tiene un árbol de salida (20a) conectado al compresor de fase media (C2) y al expansor (T);

al menos un cojinete de tipo sin contacto (22, 24, 26), dispuesto entre el compresor de fase media (C2) y el expansor (T), para soportar el árbol de salida (20a) del primer motor (20) sin estar en contacto con el árbol de salida (20a); y

25 una carcasa (28) para alojar el compresor de fase media (C2), el expansor (T) y el al menos un cojinete de tipo sin contacto (22, 24, 26),

30 en donde el frigorífico (10) comprende además una línea de extracción (56) dispuesta para comunicar con una región (Is) entre el compresor de fase media (C2) y el expansor (T) en un espacio interior de la carcasa (28), y configurada para extraer al menos una parte de refrigerante que fuga (r0) que fluye desde un lado del compresor de fase media (C2) hacia el expansor (T) dentro de la carcasa (28) desde la región (Is) a la línea de circulación de refrigerante (16) conectada a un lado de admisión o un lado de descarga del compresor de fase media (C2) fuera de la carcasa (28), y

35 en donde la carcasa (28) se configura para sellar la región (Is) desde fuera de la carcasa (28) de modo que al menos una parte del refrigerante que fuga (r0) por medio de la línea de extracción (56) es el único flujo del refrigerante (r) entre la región (Is) y el exterior de la carcasa (28).

2. El frigorífico (10) según la reivindicación 1, que comprende además un manómetro (66, 68) para detectar un diferencial de presión entre una presión de una región más cerca del compresor de fase media (C2) que del expansor (T), en la región (Is) del espacio interior de la carcasa (28), y una presión de una región más cerca del expansor (T) que del compresor de fase media (C2) en la región (Is),

40 en donde una presencia o una ausencia del refrigerante que fuga (r0) se detecta a partir de un valor de detección del manómetro (66, 68).

3. El frigorífico (10) según las reivindicaciones 1 o 2, que comprende además un termómetro (70, 72) para detectar una diferencia de temperatura entre una temperatura de una región más cerca del compresor de fase media (C2) que del expansor (T) en la región (Is) del espacio interior de la carcasa (28), y una temperatura de una región más cerca del expansor (T) que del compresor de fase media (C2) en la región (Is),

50 en donde una presencia o una ausencia del refrigerante que fuga (r0) se detecta a partir de un valor de detección del termómetro (70, 72).

4. El frigorífico (10) según la reivindicación 2 o 3, que comprende además:

una válvula de extracción (58), dispuesta en la línea de extracción (56), para ajustar una cantidad de extracción del refrigerante que fuga (r0); y

55 un controlador (60) para controlar un grado de apertura de la válvula de extracción (58) sobre la base del valor de detección del manómetro (66, 68) o del termómetro (70, 72).

5. El frigorífico (10) según la reivindicación 4,

en donde el controlador (60) se configura para controlar el grado de apertura de la válvula de extracción (58) sobre la base de al menos uno de: COP del frigorífico (10); o una diferencia de temperatura de refrigerante entre un lado de

admisión y un lado de descarga del expansor (T).

6. El frigorífico (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un alojamiento adiabático (74) aislado térmicamente del exterior y que acomoda el expansor (T) y la parte de enfriamiento (12).

5 7. El frigorífico (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una unidad de compresores (76) que incluye:

10 un segundo motor (M2) que tiene un árbol de salida (78) conectado al compresor de fase baja (C1) y al compresor de fase alta (C3);

al menos un cojinete de tipo sin contacto (22, 24, 26) dispuesto entre el compresor de fase baja (C1) y el compresor de fase alta (C3), para soportar el árbol de salida (78) del segundo motor (M2) sin estar en contacto con el árbol de salida (78); y

15 una carcasa (28) para alojar el compresor de fase baja (C1), el compresor de fase alta (C3) y el al menos un cojinete de tipo sin contacto (22, 24, 26).

8. El frigorífico (10) según la reivindicación 7, que comprende además:

20 un primer intercambiador de calor (Hx1) dispuesto en la línea de circulación de refrigerante (16) entre el compresor de fase baja (C1) y el compresor de fase media (C2), para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase baja (C1);

un segundo intercambiador de calor (Hx2) dispuesto en la línea de circulación de refrigerante (16) entre el compresor de fase media (C2) y el compresor de fase alta (C3), para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase media (C2); y

25 un tercer intercambiador de calor (Hx3) dispuesto en la línea de circulación de refrigerante (16) entre el compresor de fase alta (C3) y el expansor (T), para enfriar el refrigerante descargado desde el compresor de fase alta (C3),

30 en donde el primer intercambiador de calor (Hx1), el segundo intercambiador de calor (Hx2) y el tercer intercambiador de calor (Hx3) se disponen entre el compresor de expansor integrado (14) y la unidad de compresores (76), para tener respectivamente direcciones longitudinales paralelas entre sí.

9. Un método para hacer funcionar un frigorífico (10) que comprende:

35 una parte de enfriamiento (12) para enfriar un objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con un refrigerante (r);

un compresor de expansor integrado (14) que incluye un compresor para comprimir el refrigerante y un expansor para expandir el refrigerante (r), el compresor y el expansor se integran en el compresor de expansor integrado (14); y

40 una línea de circulación de refrigerante (16) configurada para hacer circular el refrigerante (r) a través del compresor, el expansor y la parte de enfriamiento (12),

en donde un compresor de fase baja (C1), un compresor de fase media (C2) y un compresor de fase alta (C3) se disponen en serie en la línea de circulación de refrigerante (16),

en donde el compresor de expansor integrado (14) incluye:

45 el compresor de fase media (C2);

un expansor (T) para expandir y enfriar adiabáticamente el refrigerante (r) descargado desde el compresor de fase media (C2);

50 un primer motor (M1) que tiene un árbol de salida (20a) conectado al compresor de fase media (C2) y al expansor (T);

al menos un cojinete de tipo sin contacto (22, 24, 26), dispuesto entre el compresor de fase media (C2) y el expansor (T), para soportar el árbol de salida (20a) del primer motor (20) sin estar en contacto con el árbol de salida (20a); y

55 una carcasa (28) para alojar el compresor de fase media (C2), el expansor (T) o el al menos un cojinete de tipo sin contacto (22, 24, 26), y

en donde la carcasa (28) se configura para sellar una región (Is) entre el compresor de fase media (C2) y el expansor (T), de un espacio interior de la carcasa (28), desde fuera de la carcasa (28),

el método comprende:

una etapa de compresión para comprimir el refrigerante (r) con los tres compresores (C1, C2, C3);

una etapa de expansión para expandir el refrigerante (r) comprimido en la etapa de compresión con el expansor (T);

5 una etapa de enfriamiento para enfriar el objeto que va a ser enfriado a través de intercambio de calor con el refrigerante (r) expandido en la etapa de expansión; y

10 una etapa de extracción para extraer, a través de una línea de extracción (56) dispuesta para comunicar con la región (Is) dentro de la carcasa (28), al menos una parte de refrigerante que fuga (r0) que fluye desde un lado del compresor de fase media (C2) hacia el expansor (T) dentro de la carcasa (28), desde la región (Is) dentro de la carcasa (28) a la línea de circulación de refrigerante (16) conectada a un lado de admisión o un lado de descarga del compresor fuera de la carcasa (28).

10. El método para hacer funcionar un frigorífico (10) según la reivindicación 9,

15 en donde la etapa de extracción incluye una primera etapa de ajuste de cantidad de extracción para ajustar una cantidad de extracción al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media (C2) sobre la base de un diferencial de presión entre una presión de una región más cerca del compresor de fase media (C2) que del expansor (T), en la región (Is) dentro de la carcasa (28), y una presión de una región más cerca del expansor (T) que del compresor de fase media (C2) en la región (Is).

20 11. El método para hacer funcionar un frigorífico (10) según la reivindicación 9 o 10,

25 en donde la etapa de extracción incluye una segunda etapa de ajuste de cantidad de extracción para ajustar una cantidad de extracción al lado de admisión o el lado de descarga del compresor de fase media (C2) sobre la base de una diferencia de temperatura entre una temperatura de una región más cerca del compresor de fase media (C2) que del expansor (T), en la región (Is) dentro de la carcasa (28), y una temperatura de una región más cerca del expansor (T) que del compresor de fase media (C2) en la región (Is).

12. El método para hacer funcionar un frigorífico (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11,

30 en donde la etapa de extracción incluye una tercera etapa de ajuste de cantidad de extracción para ajustar una cantidad de extracción desde la región (Is) dentro de la carcasa (28) al lado de admisión del compresor sobre la base de al menos uno del COP del frigorífico (10) o una diferencia de temperatura de refrigerante entre un lado de admisión y un lado de descarga del expansor (T).

13. El método para hacer funcionar un frigorífico (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12,

35 en donde el compresor de fase media (C2) comprende un compresor centrífugo que incluye un impulsor de compresor (52) fijado a un extremo del primer motor (M1),

en donde el expansor (T) comprende un expansor centrífugo que incluye un impulsor de turbina (54) fijado a otro extremo del primer motor (M1), y

40 en donde la etapa de compresión y la etapa de expansión incluyen ajustar presiones para que sean sustancialmente iguales en un lado posterior del compresor centrífugo y en un lado posterior del expansor centrífugo.

45

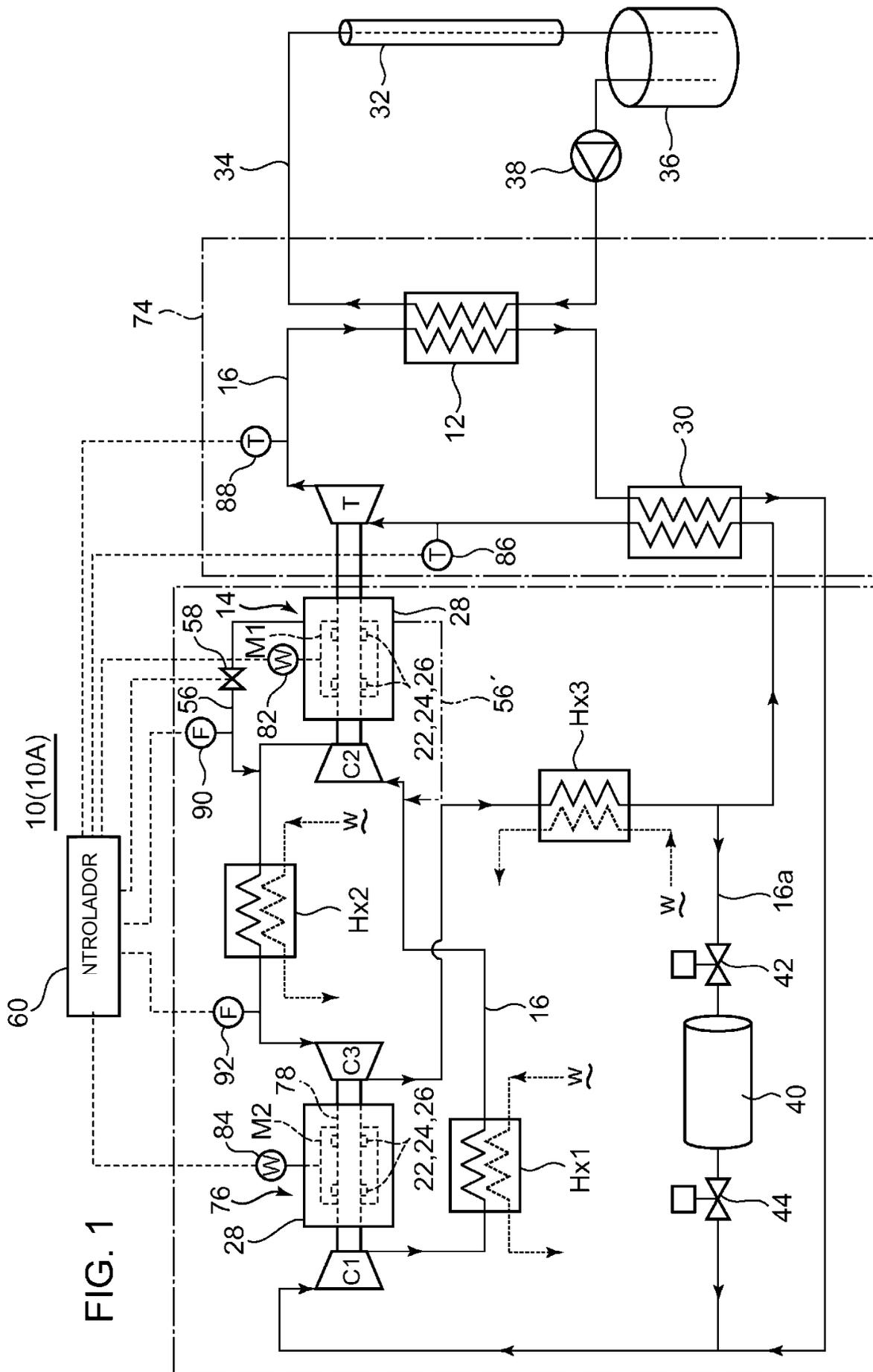
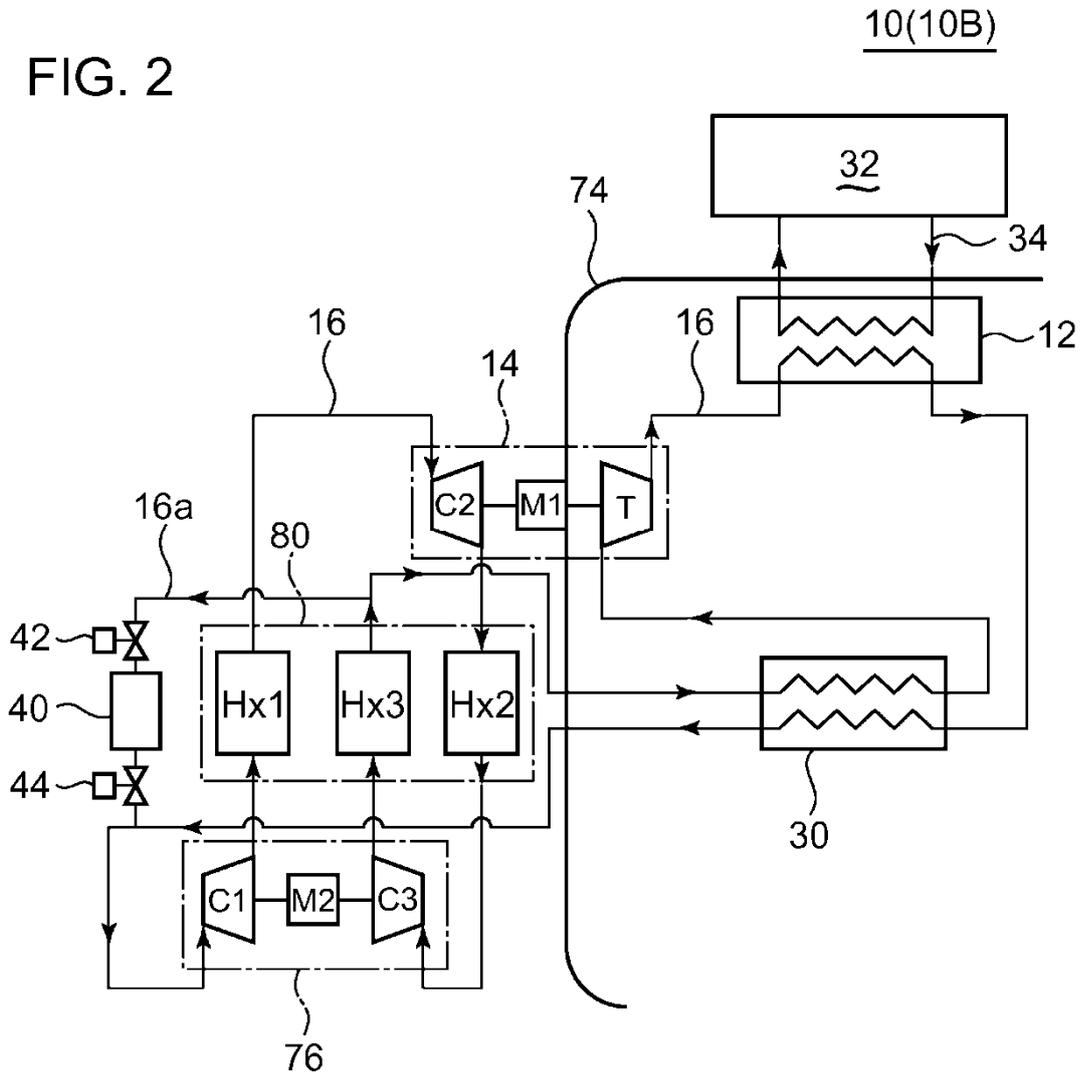


FIG. 1

FIG. 2



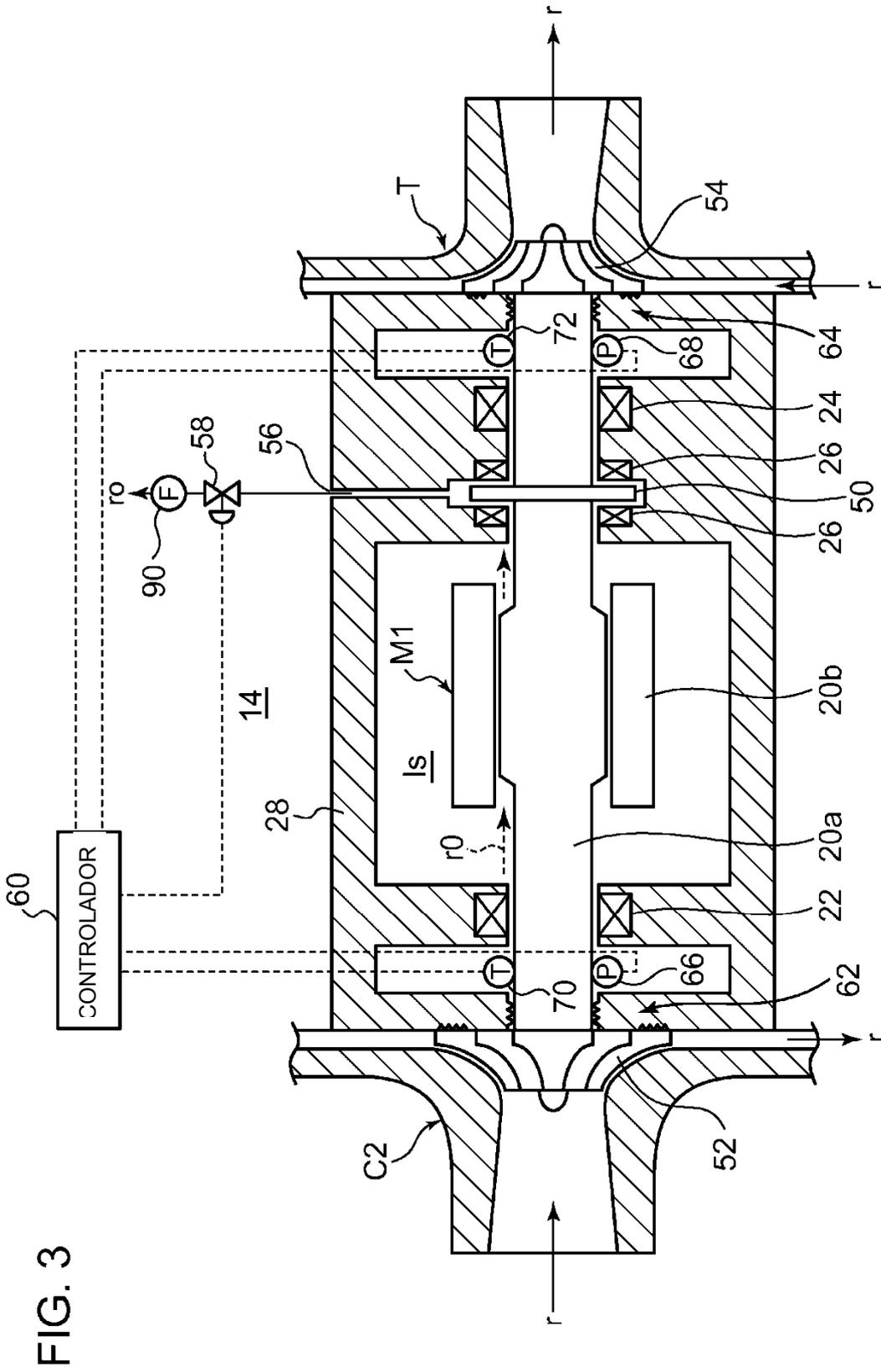


FIG. 3

FIG. 4

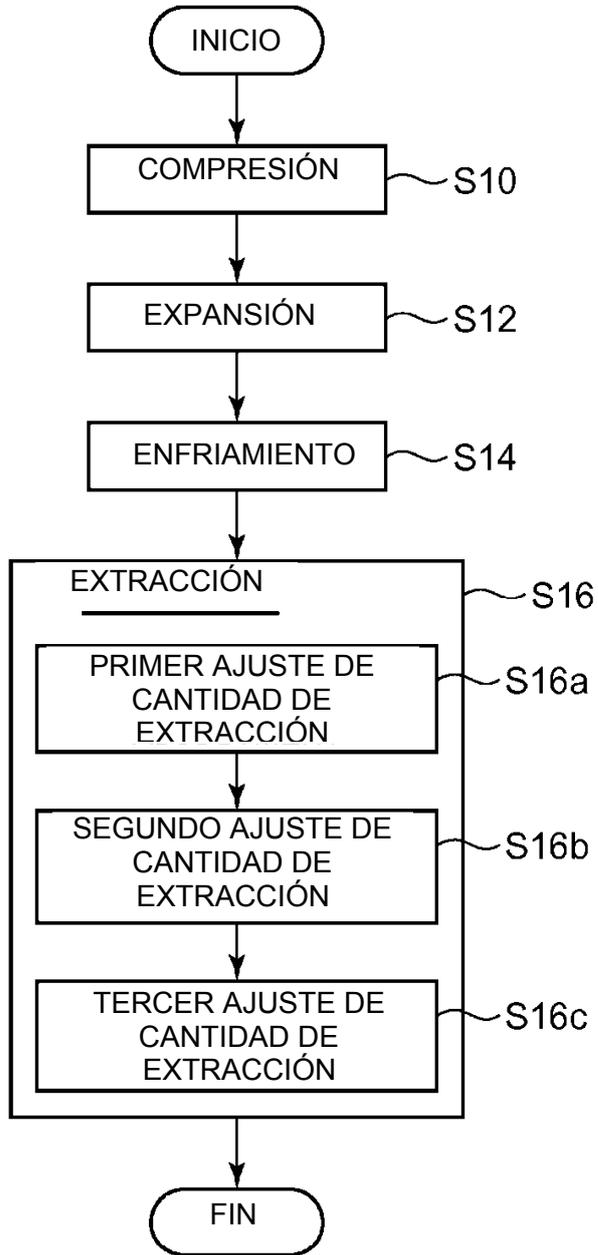


FIG. 5

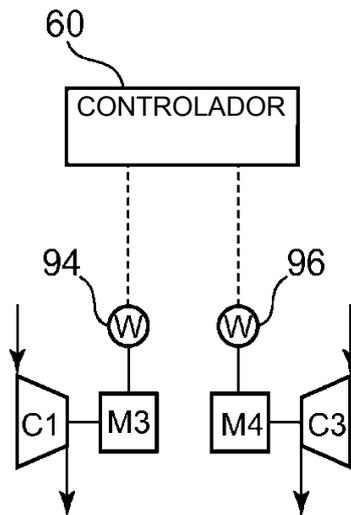


FIG. 6

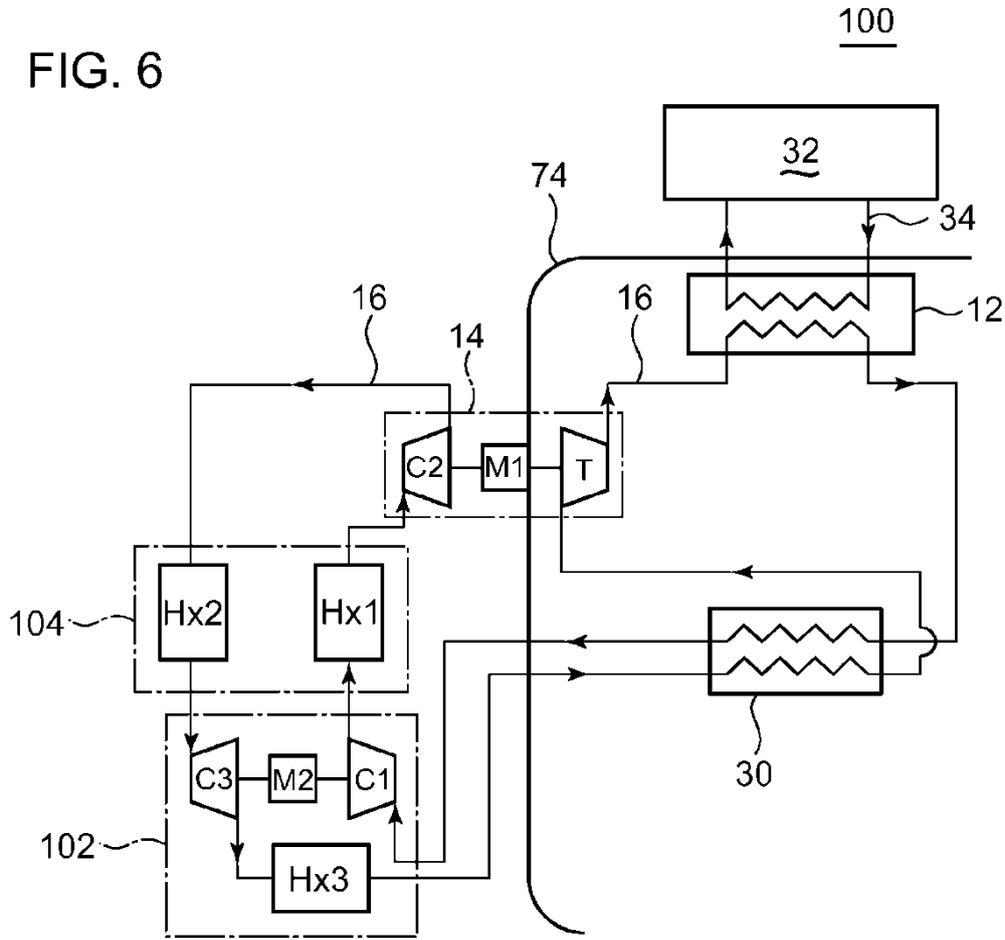


FIG. 7

