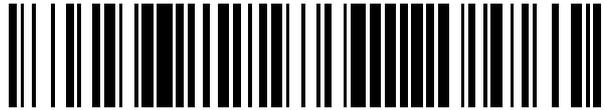


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 347**

51 Int. Cl.:

F25B 9/06	(2006.01)
F25B 9/00	(2006.01)
F25B 9/10	(2006.01)
F25B 1/10	(2006.01)
F25B 6/04	(2006.01)
F25B 11/02	(2006.01)
F25B 25/00	(2006.01)
F25B 27/00	(2006.01)
F25B 41/04	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.03.2014 PCT/JP2014/057678**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2014 WO14178240**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.03.2014 E 14791203 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2019 EP 2975337**

54 Título: **Sistema de refrigeración**

30 Prioridad:

02.05.2013 JP 2013097143

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.03.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NAKAMURA, NAOKO;
KOMATSU, SHUNSUKE;
UEDA, SHOTA;
KOMEDA, MASAO;
KUDO, MIZUO y
MACHIDA, AKITO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 751 347 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

Sistema de refrigeración

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un sistema de refrigeración que comprende un ciclo de refrigeración que tiene: una trayectoria de circulación en la que fluye un refrigerante; y un compresor para comprimir el refrigerante, un intercambiador de calor para enfriar el refrigerante comprimido por el compresor, una turbina de expansión para expandir el refrigerante enfriado por el intercambiador de calor para generar calor frío, y una parte de enfriamiento para enfriar un objeto a enfriar por el calor frío, que se proporcionan en la trayectoria de circulación en orden.

Antecedentes

10 Un sistema de refrigeración donde un refrigerante es enfriado por un ciclo de refrigeración utilizando un compresor y una turbina de expansión para enfriar un objeto es ampliamente conocido. Ejemplos de este tipo de sistema de refrigeración incluyen un sistema de refrigeración que tiene una pluralidad de compresores o turbinas de expansión dispuestos en serie en una trayectoria de circulación en la que el refrigerante fluye para comprimir o expandir el refrigerante en múltiples etapas para mejorar la capacidad de enfriamiento, como se describe en los Documentos de
15 patente 1, 2 o 3.

Lista de citas

Bibliografía de patentes

Documento de Patente 1: JP 2003-148824 A

Documento de Patente 2: JP Hei9-329034 A

20 Documento de Patente 3: WO2010/113158 A1

El documento DE 2122064 A1 divulga un sistema de refrigeración que comprende un ciclo de Brayton que tiene una trayectoria de circulación en la que fluye un refrigerante y un compresor para comprimir el refrigerante, un intercambiador de calor para enfriar el refrigerante comprimido por el compresor, una turbina de expansión para expandir el refrigerante enfriado por el intercambiador de calor para generar calor frío, y una parte de enfriamiento
25 para enfriar.

Compendio

Problema técnico

30 Si la carga de calor debida al objeto a enfriar es grande, se requiere aumentar el tamaño del sistema de refrigeración para obtener una mayor capacidad de refrigeración. En tal caso, dado que con respecto a los refrigeradores de tipo de almacenamiento en frío, generalmente es difícil aumentar el tamaño, se utilizan refrigeradores de intercambiador de calor de flujo a contracorriente que usan, por ejemplo, el ciclo de Brayton. Por ejemplo, para mantener una temperatura extremadamente baja de un dispositivo superconductor, se requiere un sistema de refrigeración de gran tamaño. Específicamente, se requiere un gran espacio para instalar un sistema de refrigeración de gran tamaño con el fin de aplicar un dispositivo superconductor a motores superconductores para barcos o cables superconductores
35 para el transporte de energía que se colocará en áreas urbanas, lo que puede evitar que dicho sistema de refrigeración sea ampliamente utilizado.

Además, como tal sistema de refrigeración utilizado para dispositivos superconductores requiere una operación estable, es necesario garantizar la fiabilidad mediante la instalación de un sistema equivalente como un respaldo con el fin de continuar la operación en caso de mal funcionamiento (por ejemplo, fallo) del sistema de refrigeración. En tal
40 caso, existe un problema tal que el tamaño total del sistema de refrigeración puede aumentar aún más.

En vista de los problemas anteriores, la presente invención es para proporcionar un sistema de refrigeración capaz de asegurar una excelente fiabilidad e instalarse de manera eficiente en un espacio limitado.

Solución al problema

45 Para lograr el objeto anterior, se proporciona un sistema de refrigeración para un dispositivo superconductor según la presente invención tal como se define en la reivindicación 1. El sistema de enfriamiento comprende un sistema de refrigeración que comprende un ciclo de refrigeración que tiene: una trayectoria de circulación en la que fluye un refrigerante; y al menos un compresor para comprimir el refrigerante, un intercambiador de calor para enfriar el refrigerante comprimido por el compresor, al menos una turbina de expansión para expandir el refrigerante enfriado por el intercambiador de calor para generar calor frío, y una parte de enfriamiento para enfriar un objeto a enfriar por
50 el calor frío, que se proporcionan en la trayectoria de circulación en orden,

en el que al menos el al menos un compresor o la al menos una turbina de expansión comprende una pluralidad de compresores o turbinas de expansión que están dispuestos en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de circulación.

5 Según la presente invención, una pluralidad de compresores o turbinas de expansión, que son máquinas que constituyen el ciclo de refrigeración giratorio, están dispuestos en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de circulación en la que el refrigerante fluye, con lo que incluso en caso de una anomalía (por ejemplo, fallo) de una de la pluralidad de máquinas rotativas, otra de la pluralidad de máquinas rotativas puede funcionar como respaldo, y de ese modo es posible continuar la operación. En general, las máquinas rotativas tienden a tener un alto riesgo de anomalía en comparación con otros componentes de un sistema de refrigeración. Según la presente invención, al preparar un respaldo solo para una máquina rotativa que tiene un alto riesgo de anomalía, es posible aumentar la fiabilidad mientras se suprime el aumento del tamaño de todo el sistema.

En una realización de la presente invención, cada uno de la pluralidad de compresores o cada uno de la pluralidad de turbinas de expansión dispuestos en paralelo entre sí en la trayectoria de circulación está configurado para ser desconectable de la trayectoria de circulación a través de una válvula de conmutación.

15 De acuerdo con esta realización, en caso de una anomalía de una máquina rotativa tal como el compresor o la turbina de expansión, abriendo o cerrando la válvula de conmutación, es posible cambiar a una máquina rotativa de respaldo para continuar la operación.

20 Según la presente invención, la al menos una turbina de expansión está alojada junto con la parte de enfriamiento en al menos una caja fría aislada del exterior, el al menos un compresor está alojado en al menos una unidad de compresor que no sea la a al menos una caja fría, y la al menos una unidad de compresor se coloca en una posición más alejada del objeto a enfriar que la al menos una caja fría.

25 Según la presente invención, mediante la colocación de la turbina de expansión para generar un calor frío, junto con la parte de enfriamiento, en la caja fría aislada del exterior, que es posible suprimir la pérdida de calor y mejorar la eficiencia de refrigeración. Por otro lado, el compresor está alojado en la unidad del compresor que no sea la caja fría porque la temperatura del refrigerante se vuelve relativamente alta en el compresor. En particular, al colocar la unidad del compresor en una posición más alejada del objeto a enfriar que la caja fría, es posible realizar un sistema de refrigeración que se puede instalar en un espacio pequeño alrededor del objeto a enfriar mientras se garantiza la capacidad de refrigeración.

30 En tal caso, la al menos una unidad de compresor puede comprender una pluralidad de unidades de compresor dispuestas en paralelo entre sí con respecto a la al menos una caja fría a través de una válvula de conmutación.

De acuerdo con esta realización, una unidad de compresor se puede seleccionar de entre la pluralidad de unidades de compresor a través de la válvula de conmutación. Por lo tanto, incluso en caso de una anomalía de la unidad del compresor utilizada durante la operación normal, al cambiar a otra unidad del compresor, es posible continuar la operación para mantener la operación estable.

35 La al menos una caja fría puede comprender una pluralidad de cajas frías, y la al menos una unidad de compresor puede comprender una pluralidad de unidades de compresor, de la pluralidad de cajas frías y la pluralidad de las unidades de compresor que está dispuesta en paralelo entre sí con respecto al objeto a enfriar.

De acuerdo con esta realización, una pluralidad de cajas frías y una pluralidad de unidades de compresor se proporcionan con respecto al objeto a enfriar, con lo que es posible construir un sistema que tiene una mayor fiabilidad.

40 En una realización de la presente invención, el al menos un compresor comprende un primer compresor, un segundo compresor y un tercer compresor dispuestos en serie en la trayectoria de circulación, el primer compresor está conectado a un árbol de salida de un primer motor eléctrico junto con el segundo compresor, y el tercer compresor está conectado a un árbol de salida de un segundo motor eléctrico junto con una de la al menos una turbina de expansión.

45 De acuerdo con esta realización, una pluralidad de compresores están dispuestos en serie en la trayectoria de circulación, por lo que la compresión en múltiples etapas puede llevarse a cabo. En particular, el primer compresor está conectado al árbol de salida del primer motor eléctrico junto con el segundo compresor, por lo que es posible hacer la estructura más simple que un caso en el que se proporciona una fuente de energía para cada compresor. Además, el tercer compresor está conectado al árbol de salida del segundo motor eléctrico junto con la turbina de expansión, por lo que es posible simplificar la estructura. Además, mediante dicha configuración, la potencia generada por la turbina de expansión contribuye a la potencia de compresión del tercer compresor, lo que puede proporcionar eficacia.

Efectos ventajosos

55 Según la presente invención, una pluralidad de compresores o turbinas de expansión, que son máquinas que constituyen el ciclo de refrigeración giratorio, están dispuestos en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de

5 circulación en la que el refrigerante fluye, con lo que incluso en caso de una anomalía (por ejemplo, fallo) de una de la pluralidad de máquinas rotativas, otra de la pluralidad de máquinas rotativas puede funcionar como respaldo, y de ese modo es posible continuar la operación. En general, las máquinas rotativas tienden a tener un alto riesgo de anomalía en comparación con otros componentes de un sistema de refrigeración. Según la presente invención, al preparar un respaldo solo para una máquina rotativa que tiene un alto riesgo de anomalía, es posible aumentar la fiabilidad mientras se suprime el aumento del tamaño de todo el sistema.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración de acuerdo con una realización de la presente invención.

10 La figura 2 es una tabla que muestra un ejemplo de operación de válvulas de conmutación en el sistema de refrigeración ilustrado en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración de acuerdo con un primer ejemplo modificado.

La figura 4 es un diagrama detallado del área encerrada por la línea discontinua en la figura 3.

15 La figura 5 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración de acuerdo con un segundo ejemplo modificado.

La figura 6 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración de una técnica relacionada.

Las figuras 7a y 7b es un diagrama T-S de un ciclo de Brayton aplicado a un sistema de refrigeración.

20 Descripción detallada

Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora en detalle con referencia a los dibujos adjuntos. Sin embargo, se pretende que, a menos que se especifique particularmente, las dimensiones, materiales, formas, posiciones relativas y similares de los componentes descritos en las realizaciones se interpretarán solo como ilustrativos y no limitativos del alcance de la presente invención.

25 (Técnica relacionada)

Antes de la descripción de realizaciones de la presente invención, una técnica relacionada como antecedentes se describirá con referencia a la figura 6 y a la figura 7. La figura 6 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración 100' de una técnica relacionada. Las figuras 7a y 7b es un diagrama T-S de un ciclo de Brayton aplicado al sistema de refrigeración 100', donde el eje vertical representa la temperatura T [K], y el eje horizontal representa la entropía [KJ/kgK]. La figura 7b es una vista ampliada del área encerrada por la línea discontinua en la figura 7a.

30

El sistema de refrigeración 100' comprende, en una trayectoria de circulación 101 en la que fluye un refrigerante, un compresor 102 para comprimir el refrigerante, un intercambiador de calor 103 para enfriar el refrigerante comprimido por el compresor por intercambio de calor con agua de refrigeración, una turbina de expansión 104 para expandir el refrigerante enfriado por el intercambiador de calor, una parte de enfriamiento 105 que tiene un intercambiador de calor para el intercambio de calor entre el refrigerante y un objeto a enfriar, y un intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106 para recuperar un calor frío del refrigerante, que se proporcionan en la trayectoria de circulación para formar un ciclo de Brayton de un tipo de intercambiador de calor de flujo a contracorriente usando un ciclo de refrigeración de flujo de circulación constante.

35

40 El objeto a ser enfriado por el sistema de refrigeración 100' es un dispositivo superconductor (no mostrado) que usa un superconductor bajo una condición de temperatura muy baja. Para mantener una condición de temperatura muy baja, se permite que el nitrógeno líquido como refrigerante circule en el dispositivo superconductor, y en la figura 6, solo se muestra la trayectoria de circulación 150 en la que circula el nitrógeno líquido. La trayectoria de circulación 150 está configurada para poder experimentar intercambio de calor en la parte de enfriamiento 105 con el refrigerante que fluye en la trayectoria de circulación 101 del sistema de refrigeración 100'. El nitrógeno líquido que fluye en la trayectoria de circulación 150 y que tiene una temperatura aumentada por la carga de calor del dispositivo superconductor se enfría por intercambio de calor con el refrigerante que fluye en la trayectoria de circulación 101 enfriado por el sistema de refrigeración 100'.

45

50 Como refrigerante en la trayectoria de circulación 101 del sistema de refrigeración 100', por ejemplo, se puede utilizar neón. Sin embargo, el refrigerante no está limitado al mismo y, por supuesto, se pueden usar alternativamente otros tipos de gas dependiendo de la temperatura de enfriamiento.

El sistema de refrigeración 100' tiene, en la trayectoria de circulación 101, una pluralidad de compresores 102a, 102b, 102c e intercambiadores de calor 103a, 103b, 103c. Los intercambiadores de calor 103a, 103b, 103c se proporcionan

en un lado aguas abajo de los compresores 102a, 102b, 102c, respectivamente, y están configurados para poder enfriar mediante intercambio de calor con agua de refrigeración, teniendo el refrigerante una temperatura aumentada por compresión adiabática.

5 La temperatura del refrigerante que fluye en la trayectoria de circulación 101 se incrementa por compresión adiabática mediante el compresor 102a proporcionado en la posición aguas arriba (ver la porción 151 en la figura 7b), y luego el refrigerante se enfría por intercambio de calor por el agua de enfriamiento en el intercambiador de calor 103a proporcionado en el lado aguas abajo (ver la porción 152 en la figura 7b). Posteriormente, la temperatura del refrigerante se incrementa nuevamente por compresión adiabática mediante el compresor 102b (véase la porción 153 en la figura 7b), y luego el refrigerante se enfría por intercambio de calor mediante el agua de enfriamiento en el intercambiador de calor 103b proporcionado en el lado aguas abajo (véase la porción 154 en la figura 7b). Además, la temperatura del refrigerante se incrementa nuevamente por compresión adiabática mediante el compresor 102c (véase la porción 155 en la figura 7b), y luego el refrigerante se enfría por intercambio de calor mediante el agua de enfriamiento en el intercambiador de calor 103c proporcionado en el lado aguas abajo (véase la porción 156 en la figura 7b).

15 En el sistema de refrigeración 100', múltiples etapas de compresión adiabática mediante compresores 102 y refrigeración mediante intercambiadores de calor 103 se llevan a cabo varias veces para mejorar la eficiencia. Es decir, al llevar a cabo múltiples etapas de repetición de la compresión y enfriamiento adiabáticos, el proceso de compresión del ciclo de Brayton se acerca a la compresión isotérmica ideal. Un mayor número de etapas acercará el proceso de compresión a la compresión isotérmica; sin embargo, el número de etapas puede decidirse 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 se enfría además mediante el intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106 (véase la porción 157 en la figura 7a), y se somete a expansión adiabática mediante la turbina de expansión 104 para generar un calor frío (véase la porción 158 en la figura 7a).

25 La figura 6 muestra un ejemplo del sistema de refrigeración 100' que tiene una turbina de expansión única 104; sin embargo, el sistema de refrigeración 100' puede tener una pluralidad de turbinas de expansión dispuestas en serie en la trayectoria de circulación de la misma manera que los compresores 102.

El refrigerante agotado de la turbina de expansión 104 se somete a intercambio de calor en la parte de refrigeración 105 con el nitrógeno líquido que fluye en la trayectoria de circulación dentro del dispositivo superconductor, ya que el objeto a enfriar tiene una temperatura aumentada por la carga de calor (véase la porción 159 en la figura 7a).

El refrigerante que tiene una temperatura aumentada por la parte de enfriamiento 105 se introduce en el intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106, y se somete a intercambio de calor con el refrigerante comprimido que tiene una temperatura alta que fluye a través del intercambiador de calor 103c para recuperar el calor frío restante. Al utilizar el calor frío que queda en el refrigerante después de enfriar el objeto a enfriar, la temperatura del refrigerante a introducir en la turbina de expansión se puede disminuir, con lo que se puede mejorar la eficiencia de enfriamiento.

Como se ha descrito anteriormente, en el sistema de refrigeración 100', un ciclo de Brayton se forma mediante el uso de una pluralidad de máquinas rotativas incluyendo los compresores 102 y la turbina de expansión 104.

Los dos compresores 102a, 102b en el lado aguas arriba están conectados a ambos extremos del árbol de salida 108a del motor eléctrico 107a como fuente de potencia común, respectivamente, para constituir una primera unidad 109a, con lo cual el número de piezas se puede reducir y el sistema de refrigeración se puede instalar en un espacio pequeño. Además, el compresor 102c en el lado aguas abajo y la turbina de expansión 104 están conectados a ambos extremos del árbol de salida 108b del motor eléctrico 107b como su fuente de energía común, respectivamente, para constituir una segunda unidad 109b, por lo que el número de las partes se pueden reducir y el sistema de refrigeración se puede instalar en un espacio pequeño. Además, la potencia generada por la turbina de expansión 104 contribuye a la potencia de compresión del compresor 102c, por lo que se mejora la eficiencia.

Cualquiera de los compresores 102 o la turbina de expansión 104 conectada a cualquiera de los árboles de salida 108 de los motores eléctricos comunes puede colocarse en un soporte (no mostrado) para formar la unidad.

El sistema de refrigeración 100' como se describe anteriormente tiene un problema tal que se requiere para tener un mayor tamaño cuando la carga de calor como el objeto a ser enfriado es grande, y por lo tanto requiere un amplio espacio para su instalación. Además, cuando es necesario que el sistema de refrigeración 100' funcione de manera estable, la fiabilidad se puede obtener preparando un sistema de refrigeración de respaldo equivalente para continuar la operación incluso en un caso inesperado de, por ejemplo, un fallo; sin embargo, con dicho método, el tamaño de todo el sistema puede ser muy grande (si simplemente se introduce un sistema de respaldo, el espacio de instalación será el doble).

55 Este problema puede ser resuelto por el sistema de refrigeración como se describe a continuación.

(Ejemplos)

La figura 1 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración 100 de acuerdo con una realización de la presente invención. En la figura 1, los mismos elementos que los de la técnica relacionada anterior se asignan con los mismos números de referencia que los de la técnica relacionada anterior, y se omitirá la misma descripción de los mismos.

En la figura 1, un dispositivo superconductor está indicado por un objeto a ser enfriado 160, y en la trayectoria de circulación 150 para la refrigeración del objeto a ser enfriado 160, se proporciona una bomba 17 para hacer circular el nitrógeno líquido.

Básicamente, el sistema de refrigeración 100 es capaz de refrigeración basado en el mismo ciclo de Brayton como el sistema de refrigeración 100' anterior. Sin embargo, el sistema de refrigeración 100 es diferente del sistema de refrigeración 100' porque una pluralidad de al menos un tipo de máquinas rotativas, es decir, el/los compresor(es) 102 o la(s) turbina(s) de expansión 104, están dispuestas en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de circulación 101.

En concreto, la primera unidad 109a que comprende los compresores 102a y 102b conectados al árbol de salida 108a en ambos extremos, respectivamente, del motor eléctrico común 107a, y la unidad de respaldo 119a que comprende los compresores 112a y 112b conectados al árbol de salida 118a en ambos extremos, respectivamente, del motor eléctrico común 117a, están dispuestos en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de circulación 101. La primera unidad 109a y la unidad de respaldo 119a se pueden seleccionar operando las válvulas de conmutación V1 y V2, y las válvulas de conmutación se operan de manera que la unidad de respaldo 119a se selecciona cuando se ha producido una anomalía de la primera unidad 109a, que se utiliza durante la operación.

El intercambiador de calor 103a se comparte entre la primera unidad 109a y la unidad de respaldo 119a. Esto se debe a que el intercambiador de calor 103a no es una máquina rotativa como el compresor 102a o 102b, y por lo tanto el riesgo de aparición de anomalías es menor, y el espacio puede reducirse compartiendo el intercambiador de calor entre las unidades.

En el lado aguas abajo del intercambiador de calor 103a, se proporcionan unas válvulas de conmutación V3 y V4 entre la primera unidad 109a y la unidad de respaldo 119a, y las válvulas de conmutación se operan de acuerdo con la unidad para estar en uso.

Además, la segunda unidad 109b que comprende el compresor 102c y la turbina de expansión 104 conectada al árbol de salida 108b en ambos extremos, respectivamente, del motor eléctrico común 107b, y la unidad de respaldo 119b que comprende el compresor 112c y la turbina de expansión 114 conectada al árbol de salida 118b en ambos extremos, respectivamente, del motor eléctrico común 117b, están dispuestas en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de circulación 101. La segunda unidad 109b y la unidad de respaldo 119b se pueden seleccionar operando las válvulas de conmutación V5 y V6, y las válvulas de conmutación se operan de manera que la unidad de respaldo 119b se selecciona cuando se ha producido una anomalía de la segunda unidad 109b, que se utiliza durante la operación normal.

El intercambiador de calor 103b se comparte entre la segunda unidad 109b y la unidad de respaldo 119b. Esto se debe a que el intercambiador de calor 103b no es una máquina rotativa como el compresor 102c o la turbina de expansión 104, y por lo tanto el riesgo de aparición de anomalías es menor, y el espacio puede reducirse compartiendo el intercambiador de calor entre las unidades.

En el lado aguas abajo del intercambiador de calor 103c y el intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106, se proporcionan unas válvulas de conmutación V7 y V8 entre la segunda unidad 109b y la unidad de respaldo 119b, y las válvulas de conmutación son operadas de acuerdo con la unidad para estar en uso.

La figura 2 es una tabla que muestra un ejemplo de operación de válvulas de conmutación V1 a V8 en el sistema de refrigeración 100 ilustrado en la figura 1.

En la fila superior de la tabla de la figura 2, se indican los estados de las válvulas de conmutación V1 a V8 en el caso en que el sistema de refrigeración 100 se hace funcionar normalmente (durante la operación normal). En tal situación, en el lado de la primera unidad 109a, la válvula de conmutación V1 se abre para introducir el refrigerante al lado de la primera unidad 109a, y la válvula de conmutación V2 se cierra para cerrar el refrigerante al lado de la unidad de respaldo 119a. En este caso, al abrir la válvula de conmutación V3 y cerrar la válvula de conmutación V4, el refrigerante comprimido por el compresor 102a se introduce en el compresor proporcionado en el lado aguas abajo a través del intercambiador de calor 103a.

Por otro lado, en el lado de la segunda unidad 109b, la válvula de conmutación V5 se abre para introducir el refrigerante al lado de la segunda unidad 109b, y la válvula de conmutación V6 se cierra para cerrar el refrigerante del lado de la unidad de respaldo 119b. En este caso, al abrir la válvula de conmutación V7 y cerrar la válvula de conmutación V8, el refrigerante comprimido por el compresor 102c se introduce en la turbina de expansión 104 proporcionada en el

lado aguas abajo a través del intercambiador de calor 103c y el intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106.

5 En la fila inferior de la tabla de la figura 2, están indicados los estados de las válvulas de conmutación V1 a V8 en el caso donde se ha producido una anomalía en el compresor 102a o 102b que constituye la primera unidad 109a, que se utiliza durante la operación normal del sistema de refrigeración 100. En tal situación, en el lado de la primera unidad 109a, la válvula de conmutación V1 se cierra para cerrar el refrigerante al primer lado de la unidad 109a donde se ha producido una anomalía, y la válvula de conmutación V2 se abre para introducir el refrigerante en el lado de la unidad de respaldo 119a. En este caso, al cerrar la válvula de conmutación V3 y abrir la válvula de conmutación V4, el refrigerante comprimido por el compresor 112a se introduce en el compresor 112b en el lado aguas abajo a través del intercambiador de calor 103a.

10 Por otro lado, en el lado de la segunda unidad 109b, como el compresor 102c y la turbina de expansión 104 son operados normalmente, los estados de apertura/cierre de las válvulas de conmutación V5 a V8 son los mismos que los indicados en la fila superior. También en el lado de la segunda unidad 109b, en caso de que se haya producido una anomalía del compresor 102c o la turbina de expansión 104, las válvulas de conmutación V5 a V8 pueden funcionar de la misma manera. (Específicamente, la válvula de conmutación V5 está cerrada para cerrar el suministro del refrigerante a la segunda unidad 109b, y la válvula de conmutación V6 se abre para introducir el refrigerante al lado de la unidad de respaldo 119b. Luego, al cerrar la válvula de conmutación V7 y abrir la válvula de conmutación V8, el refrigerante que pasa a través del compresor 112c se introduce en la turbina de expansión 114 a través del intercambiador de calor 103c y el intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106).

15 Como se ha descrito anteriormente, mediante la operación de las válvulas de conmutación V1 a V8, es posible accionar la unidad de respaldo para continuar la operación del sistema de refrigeración 100, incluso cuando se ha producido una anomalía en la unidad principal.

20 Dicha operación de las válvulas de conmutación V1 a V8 puede realizarse manualmente cuando un operador ha encontrado una anomalía, o las válvulas de conmutación pueden controlarse automáticamente por un controlador que comprende un microprocesador, etc. y que tiene un programa de control incorporado cuando se detecta una anomalía.

25 En el sistema de refrigeración 100 según este modo de realización, como se ilustra en la figura 1, las turbinas de expansión 104, 114, la parte de enfriamiento 105, y el intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106, que están dispuestos en el lado del objeto para ser enfriado y en el que el refrigerante que tiene flujos de temperatura relativamente bajos, se aloja en una caja fría 130 capaz de aislarse del exterior, para constituir una unidad. La caja fría 130 está configurada para fingir la intrusión de calor desde el exterior y para fingir la pérdida de calor de las turbinas de expansión 104, 114, el intercambiador de calor 105 y el intercambiador de calor de recuperación de calor frío 106, que tienen una temperatura relativamente baja, por ejemplo, teniendo una capa de aislamiento térmico al vacío entre las superficies internas y externas.

30 Por otra parte, los compresores 102a, 102b, 102c, y los intercambiadores de calor 103a, 103b, 103c, en el que el refrigerante que tiene una temperatura relativamente alta, se proporcionan integralmente como una unidad de compresor 140 fuera de la caja fría 130 anterior.

35 La caja fría 130 se coloca en una posición más cercana al objeto a enfriar que la unidad de compresor 140. De este modo, es posible suministrar el calor frío generado en la caja fría 130 al objeto a enfriar con una pérdida menor para lograr una buena eficiencia de refrigeración.

40 Para decirlo de otra manera, como la unidad de compresor 140 está constituida separada de la caja fría 130, se puede colocar de manera dispersiva en una posición separada de la caja fría 130. Como resultado, incluso en un caso en el que el espacio de instalación es pequeño alrededor del objeto a enfriar, colocando solo la caja fría 130 cerca del objeto a enfriar y colocando dispersivamente la unidad de compresor 140 en una posición separada del objeto que se desea enfriar, es posible instalar el sistema de refrigeración 100 incluso en un pequeño espacio de instalación.

45 Como se describió anteriormente, de acuerdo con el sistema de refrigeración 100 de acuerdo con este modo de realización, una pluralidad de máquinas de rotación para llevar a cabo el proceso de compresión y el proceso de expansión están dispuestas en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de circulación 101 en la que el refrigerante fluye, por lo que incluso en caso de una anomalía (por ejemplo, fallo) de una de la pluralidad de máquinas rotativas, otra de la pluralidad de máquinas rotativas puede funcionar como un respaldo, y de ese modo es posible continuar la operación. En general, las máquinas rotativas tienden a tener un alto riesgo de anomalía en comparación con otros componentes de un sistema de refrigeración. Según el modo de realización, al preparar un respaldo solo para una máquina rotativa que tiene un alto riesgo de anomalía, es posible aumentar la fiabilidad mientras se suprime el aumento del tamaño de todo el sistema.

(Primer ejemplo modificado)

Ahora, una configuración del sistema de refrigeración 200 según un primer ejemplo modificado se describirá con referencia a la figura 3. La figura 3 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración 200 según el primer ejemplo modificado.

- 5 En la figura 3, a los mismos elementos que los del ejemplo anterior se les asigna los mismos números de referencia que los del ejemplo anterior, y se omitirá la misma descripción de los mismos.

10 El sistema de refrigeración 200 de acuerdo con el primer ejemplo modificado tiene en común con el ejemplo anterior que comprende una caja fría 130 y una unidad de compresor 140; sin embargo, el sistema de refrigeración 200 es diferente del ejemplo anterior porque se proporcionan tres unidades de compresor 140a, 140b, 140c para una caja fría 130. Cada una de las unidades de compresor 140 está conectada a la caja fría 130 a través de una tubería en la que fluye el refrigerante.

La figura 4 es un diagrama detallado del área encerrada por la línea discontinua en la figura 3. En la figura 4, una de las tres estructuras proporcionadas correspondientes a las tres unidades de compresor mostradas en la figura 3 se ilustra de manera representativa, y la construcción de las otras dos estructuras es la misma.

15 Entre cada una de la unidad de compresor 140 y de la caja fría 130, se proporciona una caja 180. En cada una de las cajas 180, unas válvulas de conmutación 181a y 181b para cambiar el estado de comunicación de las líneas de entrada/salida de refrigerante entre la unidad de compresor 140 y la caja fría 130, se proporcionan el compresor 102c de la segunda unidad de compresor 109b, el motor eléctrico 107b y unos tubos de conexión de entrada/salida. El refrigerante comprimido por los compresores 102a y 102b de la unidad de compresor 140 se suministra a la caja 180, y el refrigerante se comprime adicionalmente por el compresor 102c y luego se envía al intercambiador de calor 103c a través de una línea de conexión de gas comprimido.

Las válvulas de conmutación 181a y 181b se combinan con las válvulas de conmutación V5 y V1, respectivamente.

25 En el caso en que el sistema de refrigeración 200 se hace operar de una manera normal, una de las tres unidades de compresor 140 es accionado selectivamente para operar el sistema de refrigeración 200. En el caso de que se haya producido una anomalía en la unidad de compresor 140 seleccionada, las válvulas de conmutación 181a y 181b en las cajas 180 se accionan para cambiar a las otras dos unidades de compresor 140 para continuar la operación del sistema de refrigeración 200.

30 Durante la operación normal del sistema de refrigeración 200, más de una de las tres unidades de compresor 140 pueden operar en paralelo al mismo tiempo. En tal caso, a medida que se reduce la carga por unidad de compresor 140, se puede mejorar la eficiencia del sistema; sin embargo, el número de unidades de compresor 140 para respaldo se reduce a cambio. Por lo tanto, el número de unidades de compresor en funcionamiento 140 puede decidirse en vista del equilibrio.

35 Como se describió anteriormente, con el sistema de refrigeración 200 de acuerdo con el primer ejemplo modificado, como se proporcionan una pluralidad de unidades de compresor 140, se puede obtener una mayor fiabilidad. Las unidades de compresor 140 respectivas pueden colocarse separadas de la caja fría 130, que debe colocarse en las proximidades del objeto para que se enfríe, por lo que es posible instalar las unidades de compresor 140 en espacios de instalación separados de la caja fría 130 para construir el sistema de refrigeración 200, que puede instalarse en un espacio pequeño, incluso en un caso en el que no se puede permitir que se enfríe un área amplia requerida para todo el sistema del sistema de refrigeración.

40 (Segundo ejemplo modificado)

Ahora, una configuración del sistema de refrigeración 300 según un segundo ejemplo modificado se describirá con referencia a la figura 5. La figura 5 es un diagrama que ilustra una construcción completa de un sistema de refrigeración 300 según el segundo ejemplo modificado.

45 En la figura 5, a los mismos elementos que los del ejemplo anterior se les asigna los mismos números de referencia que los del ejemplo anterior, y se omitirá la misma descripción de los mismos.

50 El sistema de refrigeración 300 de acuerdo con el segundo ejemplo modificado tiene en común con el ejemplo anterior que comprende una caja fría 130 y una unidad de compresor 140; sin embargo, el sistema de refrigeración 300 es diferente del ejemplo anterior porque tiene dos cajas frías 130a, 130b, y cada una de las dos cajas frías 130 está provista de una unidad de compresor 140a, 140b. Es decir, se proporciona un respaldo de un conjunto que incluye una caja fría 130 y una unidad de compresor 140.

En este ejemplo modificado, la operación se conmuta de modo que, por ejemplo, durante la operación normal del sistema de refrigeración 300, se opera el conjunto que incluye la caja fría 130a y la unidad de compresor 140a, y en caso de aparición de un fallo, se opera el conjunto que incluye la caja fría 130b y la unidad de compresor 140b, por lo que es posible una operación continua.

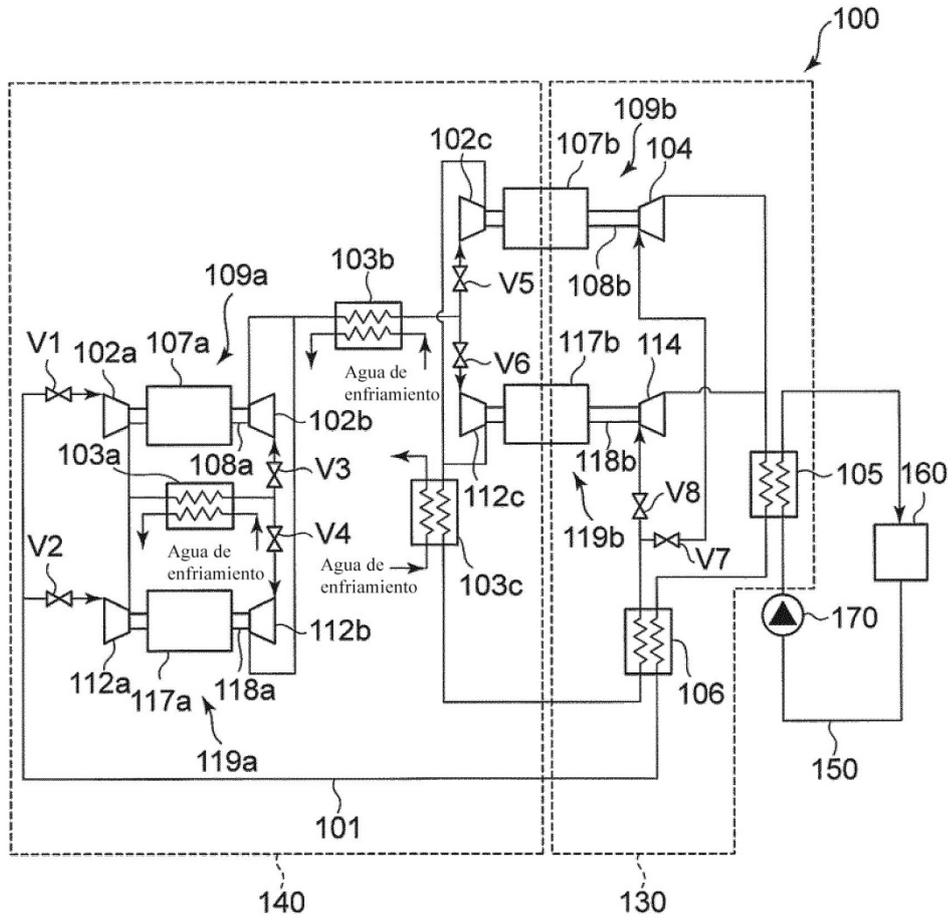
Aplicabilidad industrial

5 La presente invención es aplicable a un sistema de refrigeración que comprende un ciclo de refrigeración que tiene una trayectoria de circulación en la que fluye un refrigerante; y un compresor para comprimir el refrigerante, un intercambiador de calor para enfriar el refrigerante comprimido por el compresor, una turbina de expansión para expandir el refrigerante enfriado por el intercambiador de calor para generar calor frío, y una parte de enfriamiento para enfriar un objeto a enfriar por el calor frío, que se proporcionan en orden en la trayectoria de circulación en la que fluye un refrigerante.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de enfriamiento para un dispositivo superconductor, que comprende:
 - una trayectoria de circulación (150) de nitrógeno líquido;
 - 5 una bomba (170) dispuesta en la trayectoria de circulación (150) de nitrógeno líquido para hacer circular nitrógeno líquido para enfriar el dispositivo superconductor; y
 - un sistema de refrigeración (100, 200, 300) que comprende un ciclo de Brayton que tiene: una trayectoria de circulación (101) en la que fluye un refrigerante; y al menos un compresor (102, 112) para comprimir el refrigerante, un intercambiador de calor (103a) para enfriar el refrigerante comprimido por el compresor (102, 112), al menos una turbina de expansión (104, 114) para expandir el refrigerante enfriado por el intercambiador de calor (103a) para
 - 10 generar calor frío, y una parte de enfriamiento (105) para enfriar el nitrógeno líquido en la trayectoria de circulación (150) de nitrógeno líquido por el calor frío, que se proporcionan en la trayectoria de circulación (101) en orden,
 - en el que al menos el al menos un compresor o la al menos una turbina de expansión comprende una pluralidad de compresores (102a, 102b; 112a, 112b) o turbinas de expansión que están dispuestos en paralelo entre sí con respecto a la trayectoria de circulación (101),
 - 15 en el que la al menos una turbina de expansión (104, 114) está alojada junto con la parte de enfriamiento (105) en al menos una caja fría (130) aislada del exterior,
 - en el que el al menos un compresor (102, 112) está alojado en al menos una unidad de compresor (140) diferente de la al menos una caja fría (130), y
 - 20 en el que la al menos una unidad de compresor (140) se debe colocar en una posición más alejada del dispositivo superconductor como un objeto a enfriar (160) que la al menos una caja fría (130).
2. El sistema de enfriamiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cada uno de la pluralidad de compresores (102, 112) o cada una de la pluralidad de turbinas de expansión dispuestas en paralelo entre sí en la trayectoria de circulación (101) está configurada para ser desconectable de la trayectoria de circulación a través de una válvula de conmutación (V1, V2).
- 25 3. El sistema de enfriamiento (200) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la al menos una unidad de compresor (140) comprende una pluralidad de unidades de compresor (140a, 140b, 140c) dispuestas en paralelo entre sí con respecto a dicha al menos una caja fría (130) a través de una válvula de conmutación (181a, 181b).
4. El sistema de enfriamiento (200) de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende:
 - una segunda unidad (109b) que incluye
 - 30 un motor eléctrico (107b),
 - un compresor (102c) proporcionado en un extremo de un árbol de salida (108b) del motor eléctrico (107b), y
 - una turbina de expansión (104) proporcionada en el otro extremo del árbol de salida (108b) del motor (107b),
 - y
 - entre cada una de la unidad de compresor (140a, 140b, 140c) y la caja fría (130), una caja (180), en la cual se
 - 35 proporcionan la válvula de conmutación (181a, 181b) para cambiar el estado de comunicación entre la unidad de compresor (140) y la caja fría (130), el compresor (102c) de la segunda unidad (109b) y el motor eléctrico (107b).
5. El sistema de enfriamiento (300) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la al menos una caja fría (130) comprende una pluralidad de cajas frías (130a, 130b), y la al menos una unidad de compresor (140) comprende una pluralidad de unidades de compresor (140a, 140b), tanto la pluralidad de cajas frías (130a, 130b) como la pluralidad de las unidades de compresor (140a, 140b) están dispuestas en paralelo entre sí con respecto al objeto a enfriar (160).
- 40 6. El sistema de enfriamiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5,
 - en el que el al menos un compresor comprende un primer compresor (102a), un segundo compresor (102b) y un tercer compresor (102c) dispuestos en serie en la trayectoria de circulación (101),
 - en el que el primer compresor (102a) está conectado a un árbol de salida (108a) de un primer motor eléctrico (107a)
 - 45 junto con el segundo compresor (102b), y
 - en el que el tercer compresor (102c) está conectado a un árbol de salida (108b) de un segundo motor eléctrico (107a) junto con una de la al menos una turbina de expansión (104).

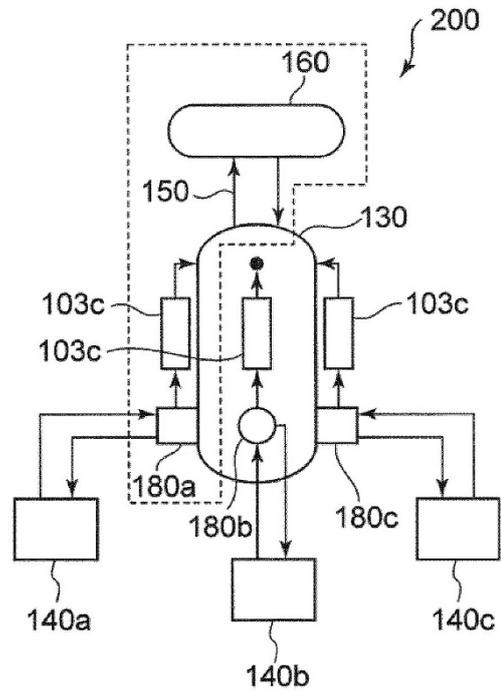
[Fig.1]



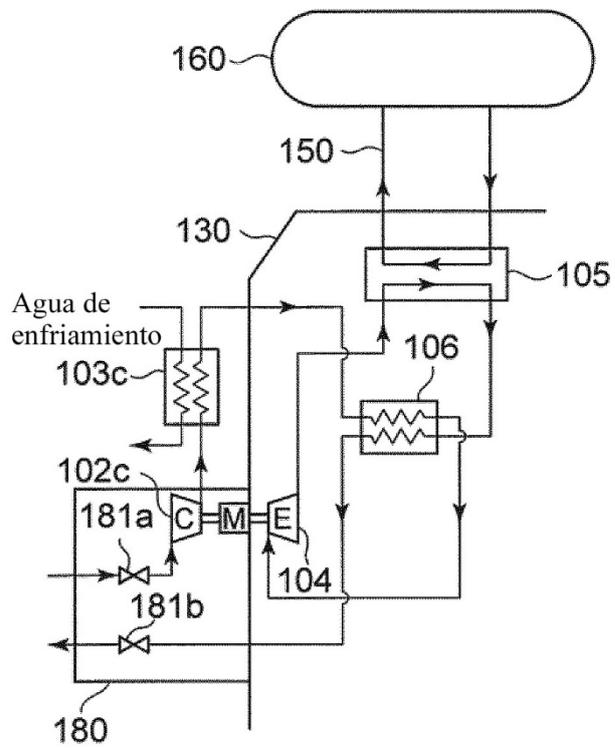
[Fig.2]

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Durante el funcionamiento normal	ABIERTO	CERRADO	ABIERTO	CERRADO	ABIERTO	CERRADO	ABIERTO	CERRADO
En caso de fallo del compresor (1a etapa)	CERRADO	ABIERTO	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO	CERRADO	ABIERTO	CERRADO

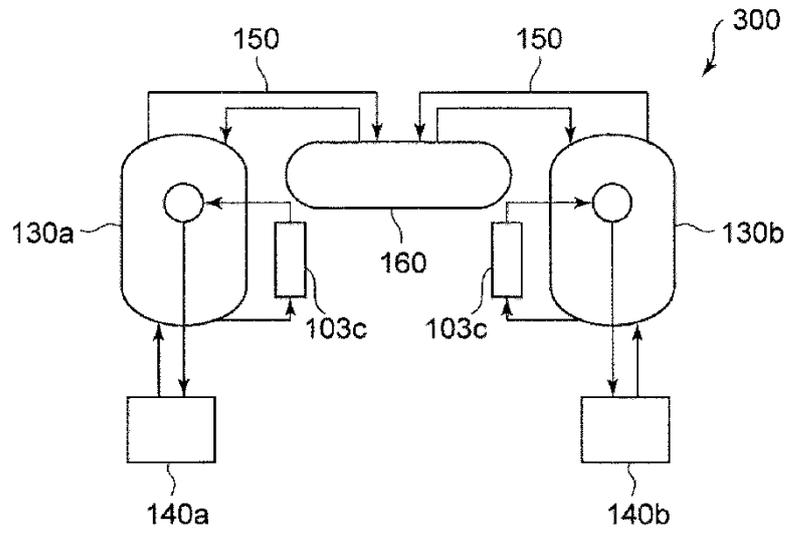
[Fig.3]



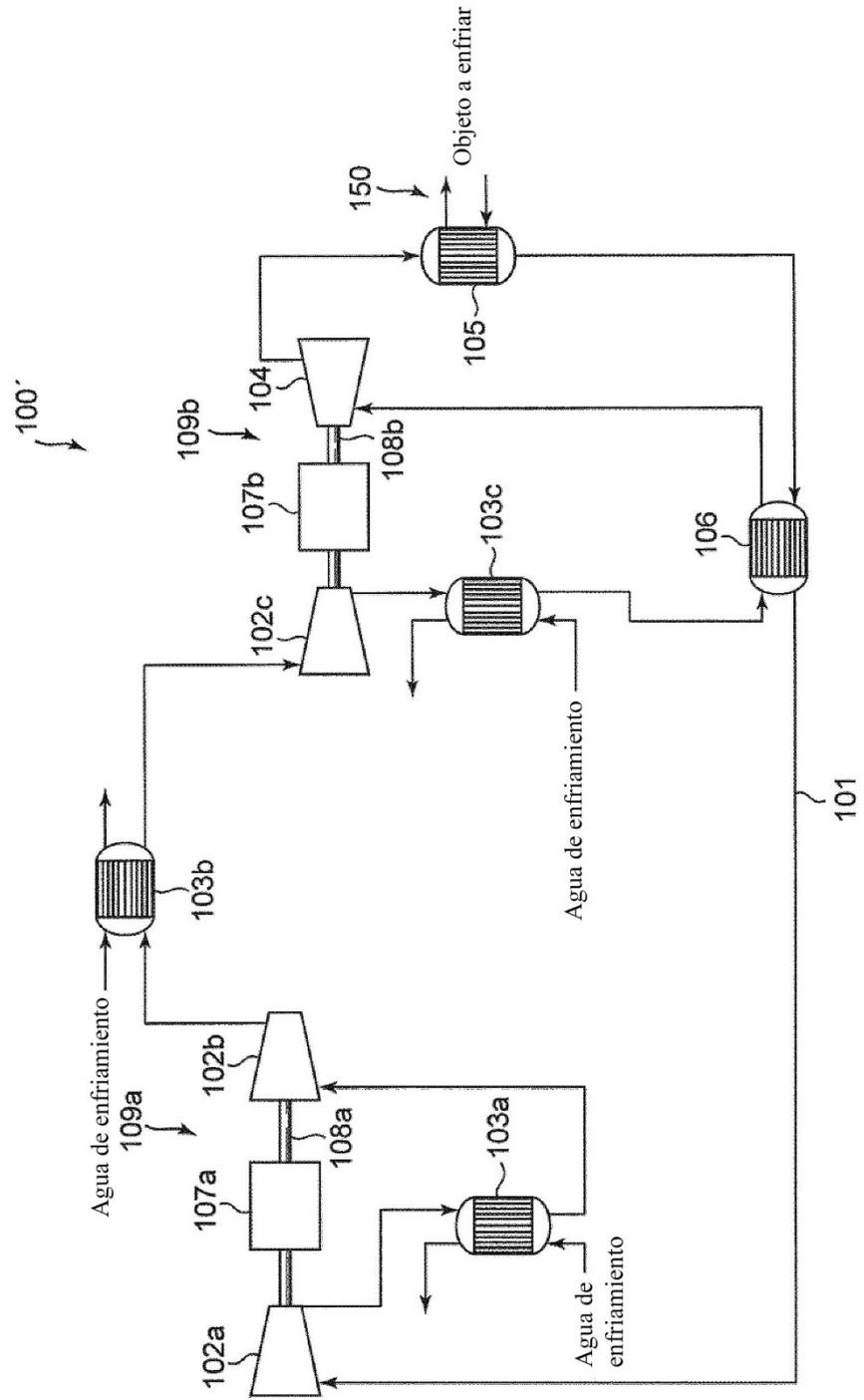
[Fig.4]



[Fig.5]

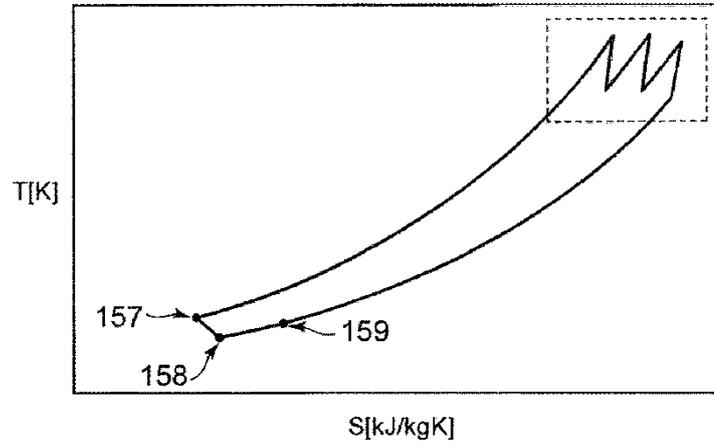


[Fig.6]



[Fig.7]

(a)



(b)

