

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 693 066**

51 Int. Cl.:

F25J 1/02 (2006.01)
F25B 1/10 (2006.01)
F25B 9/14 (2006.01)
F25B 9/10 (2006.01)
F25B 9/06 (2006.01)
F25J 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2008** **PCT/FR2008/051919**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.05.2009** **WO09066044**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2008** **E 08852903 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **15.01.2025** **EP 2225501**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de refrigeración criogénica**

30 Prioridad:

23.11.2007 FR 0759243

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
21.04.2025

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (100.00%)
75 Quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**DURAND, FABIEN y
RAVEX, ALAIN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 693 066 T5

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento de refrigeración criogénica

La presente invención se refiere a un dispositivo y a un método de refrigeración criogénica.

5 La invención se refiere más particularmente a un dispositivo de refrigeración criogénica para transferir calor de una fuente de frío a una fuente de calor a través de un fluido de trabajo que circula en un circuito de trabajo cerrado, comprendiendo el circuito de trabajo, en serie: una parte de compresión, una parte de enfriamiento, una parte de expansión y una parte de calentamiento.

La fuente de frío puede ser, por ejemplo, nitrógeno líquido para refrigerar y la fuente de calor, agua o aire.

10 Los refrigeradores conocidos para refrigerar elementos superconductores utilizan, en general, un ciclo de Brayton inverso. Estos refrigeradores conocidos utilizan un compresor lubricado en tornillo sinfín, un intercambiador de placas en contracorriente y una turbina de expansión.

Estos refrigeradores conocidos presentan numerosos inconvenientes entre los que se encuentran:

- un bajo rendimiento energético del ciclo y, en consecuencia, del refrigerador,
- 15 - utilización de aceite para refrigerar y lubricar el compresor, lo que requiere una operación de desengrase del gas de trabajo después de la compresión,
- utilización de juntas giratorias entre el motor eléctrico y el compresor.
- el bajo rendimiento isotérmico de compresión del compresor,
- la periodicidad de las operaciones de mantenimiento.

20 El documento US-3,494,145 describe un sistema de refrigeración que utiliza acoplamientos mediante engranajes que requieren cojinetes lubricados con aceite. Este tipo de dispositivo utiliza juntas giratorias tales como juntas de estanqueidad mecánicas entre el gas de trabajo y la caja de engranajes y los cojinetes lubricados con aceite. Esta construcción aumenta el riesgo de fugas del gas de trabajo y la posible contaminación del gas de trabajo por el aceite. Este sistema se refiere, por otra parte, a un motor de tipo de baja velocidad.

25 El documento US-4,984,432 describe un sistema de refrigeración que utiliza compresores o turbinas de tipo de anillo líquido que funcionan con un motor de baja velocidad que utiliza cojinetes clásicos, tales como los rodamientos de bolas. Esta tecnología se refiere a los compresores y turbinas volumétricos.

30 El documento Saji, N. et al. "Design of oil-free simple turbo type 65K/65KW helium and neon mixture gas refrigerator for high-temperature superconducting power cable cooling" (Advances in Cryogenic Engineering, vol. CP613, 2002) describe un dispositivo según el preámbulo de la reivindicación 1. Un objetivo de la presente invención es superar todos o parte de los inconvenientes de la técnica anterior mencionados anteriormente.

Con este fin, la invención se define mediante la reivindicación 1.

35 Los modos de realización permiten obtener un sistema sin contaminación de aceite y sin contacto. De hecho, la combinación de compresores centrífugos, de las turbinas centrípetas y de los cojinetes según la invención reduce o elimina cualquier contacto con partes fijas y partes giratorias. Esto evita cualquier riesgo de fugas. El conjunto del sistema es hermético y no tiene ninguna junta giratoria con respecto a la atmósfera (tal como juntas de estanqueidad mecánicas o "junta de cara seca").

Por lo tanto, la invención comprende las siguientes características:

- los compresores son del tipo de compresión centrífuga,
- la turbina o turbinas de expansión son del tipo de expansión centrípeta,
- 40 los árboles de salida de los motores están montados sobre cojinetes de tipo magnético o de tipo dinámico de gas, utilizándose dichos cojinetes para sostener los compresores y las turbinas,
- la parte de enfriamiento y la parte de calentamiento comprenden un intercambiador de calor común, en el cual el fluido de trabajo pasa en contracorriente, según que esté enfriado o calentando,
- además, modos de realización particulares pueden incluir asimismo las siguientes características:
- 45 el circuito de trabajo comprende un volumen que forma una capacidad de almacenamiento para almacenar el fluido de trabajo,

el fluido de trabajo está en fase gaseosa y constituye un gas puro o una mezcla de gases puros entre: el helio, el neón, el nitrógeno, el oxígeno, el argón, el monóxido de carbono, el metano, o cualquier otro fluido que presente una fase gaseosa a la temperatura de la fuente de frío.

La invención proporciona además un proceso de refrigeración criogénica como se define en la reivindicación 4.

5 Además, modos de realización de la invención pueden combinar una o más de las siguientes características:

después de la segunda etapa de enfriamiento, el fluido de trabajo es llevado a una temperatura baja del orden de 60 K y por que el circuito de trabajo comprende un número compresores aproximadamente tres veces mayor que el número de turbinas de expansión,

10 el fluido de trabajo se utiliza para enfriar o mantener fríos elementos superconductores a una temperatura del orden de 65 K

la caída de temperatura del fluido que constituye la fuente de frío es sustancialmente idéntica al aumento de temperatura del gas en los intercambiadores.

La invención puede tener una o más de las ventajas siguientes:

15 - el ciclo del fluido de trabajo (tipo Ericsson inverso) hace posible obtener un mayor rendimiento que los sistemas conocidos, sin por ello crear o aumentar otros inconvenientes,

- el trabajo de expansión en las turbinas puede aumentar ventajosamente,

- es posible superar el problema de la utilización de aceite para la lubricación o el enfriamiento, lo que permite suprimir la instalación de desengrasado más abajo del compresor, así como las operaciones de tratamiento y reciclaje de los aceites utilizados,

20 - el sistema requiere solo una pequeña cantidad de piezas móviles, lo que aumenta su sencillez y fiabilidad. Gracias a la invención, es posible superar el problema de la necesidad de una transmisión de potencia mecánica del tipo multiplicador de velocidad, juntas cardan, ...

- las operaciones de mantenimiento se reducen o son prácticamente inexistentes,

25 - el sistema permite evitar las juntas giratorias y utilizar un sistema totalmente hermético frente al exterior. Esto evita cualquier pérdida o contaminación del gas de ciclo de trabajo,

- el volumen del refrigerador se puede reducir en comparación con los sistemas conocidos.

Otras particularidades y ventajas aparecerán con la lectura de la descripción que sigue, realizada haciendo referencia a las figuras, en las cuales:

30 - la figura 1 representa una vista esquemática que ilustra la estructura y el funcionamiento de un primer ejemplo de realización de dispositivo de refrigeración según la invención;

- la figura 2 representa de manera esquemática un detalle de la figura 1 que ilustra una disposición de un motor de accionamiento de un conjunto compresor – compresor o compresor – turbina,

- la figura 3 representa de manera esquemática un ejemplo de ciclo de trabajo del fluido de trabajo del refrigerador de la figura 1,

35 - la figura 4 representa una vista esquemática que ilustra la estructura y el funcionamiento de un segundo ejemplo de realización de un refrigerador según la invención,

- la figura 5 representa de manera esquemática un segundo ejemplo de ciclo de trabajo del fluido de trabajo del refrigerador de la figura 3.

40 Haciendo referencia al ejemplo de realización de la figura 1, el refrigerador según la invención está destinado a transferir calor desde una fuente de frío 15 a una temperatura criogénica hacia una fuente de calor a temperatura ambiente 1, por ejemplo.

La fuente de frío 15 puede ser, por ejemplo, nitrógeno líquido para refrigerar y la fuente de calor 1, agua o aire. Para realizar esta transferencia de calor, el refrigerante ilustrado en la figura 1 utiliza un circuito de trabajo 200 de un gas de trabajo que comprende los componentes enumerados a continuación.

45 El circuito 200 comprende varios compresores 3, 5, 7 centrífugos dispuestos en serie y que funcionan a temperatura ambiente.

El circuito 200 comprende varios intercambiadores de calor 2, 4, 6 que funcionan a temperatura ambiente,

dispuestos respectivamente a la salida de los compresores 3, 5, 7. Las temperaturas del gas de trabajo a la entrada y a la salida, de cada etapa de compresión (es decir, a la entrada y a la salida de cada compresor 3, 5, 7) son mantenidas por los intercambios de calor en un nivel sustancialmente idéntico (véase la zona A en la figura 3 que representa un ciclo de trabajo del gas: temperatura en K en función de la entropía S en J/kg). En la figura 3, las partes ascendentes de la zona A en dientes de sierra corresponden cada una a una etapa de compresión, mientras que las partes descendentes de esta zona A corresponden a un enfriamiento mediante el intercambiador.

Esta disposición permite aproximarse a una compresión isotérmica. Las temperaturas de entrada y de salida, de cada etapa de compresión, son sustancialmente iguales.

Los intercambiadores 2, 4, 6 pueden estar separados o consistir en porciones separadas del mismo intercambiador en intercambio de calor con la fuente de calor 1.

El refrigerador comprende varios motores (70, véase la figura 2) denominados de alta velocidad. Por motor de alta velocidad se designa habitualmente a motores cuya velocidad de rotación permite el acoplamiento directo con una etapa de compresión centrífuga o una etapa de expansión centrípeta. Los motores 70 de alta velocidad utilizan preferentemente cojinetes de gas magnéticos o dinámicos 171 (figura 2). Un motor de alta velocidad gira típicamente a una velocidad de rotación de 10.000 rpm o de varias decenas de miles de revoluciones por minuto. Un motor de baja velocidad funciona más bien con una velocidad de algunos miles de revoluciones por minuto.

Más abajo de la parte de compresión que comprende los compresores en serie, el refrigerador comprende un intercambiador 8 de calor, preferiblemente de tipo de placas en contracorriente, que separan los elementos a temperatura ambiente (en la parte alta del circuito 200 representado en la figura 1) de los elementos a temperatura criogénica (en la parte inferior del circuito 200). El fluido se enfría (correspondiente a la zona D en la figura 3). El enfriamiento del gas de la temperatura ambiente a la temperatura criogénica se efectúa por intercambio en contracorriente con el mismo gas de trabajo del gas a la temperatura criogénica que vuelve de la parte de expansión después del intercambio de calor con la fuente de frío 15.

Más abajo de esta parte de enfriamiento constituida por los intercambiadores 8 de placas, el circuito comprende una o varias turbinas 9, 11, 13 de expansión, preferiblemente de tipo centrípetas, dispuestas en serie. Las turbinas 9, 11, 13 funcionan a temperaturas criogénicas, las temperaturas de entrada y de salida de cada etapa de expansión (entrada y salida de la turbina) son mantenidas sustancialmente idénticas mediante uno o más intercambiadores de calor 10, 12, 14 criogénicos dispuestos a la salida de la turbina o turbinas. Esto corresponde a la zona C de la figura 3, correspondiendo cada una de las porciones descendentes de la zona C a una etapa de expansión, mientras que las porciones ascendentes de esta zona corresponden al calentamiento en los intercambiadores 10, 12, 14. Esta disposición permite aproximarse a una expansión isotérmica. Las temperaturas de entrada y de salida de cada etapa de expansión son sustancialmente iguales. Además, con el fin de aumentar el rendimiento del refrigerador, el aumento de la temperatura del gas de trabajo en el intercambiador o los intercambiadores (10, 12, 14) puede ser sustancialmente idéntico (en valor absoluto) a la disminución de la temperatura del fluido a refrigerar (15) (fuente de frío).

Estos intercambiadores de calor 10, 12, 14 de calentamiento pueden ser separados o consistir en porciones separadas de un mismo intercambiador en intercambio de calor con la fuente de frío 15.

Más abajo de la parte de expansión y del intercambio de calor con la fuente de frío 15, el fluido de trabajo intercambia calor de nuevo con el intercambiador 8 de calor de placas (zona B de la figura 3). El fluido intercambia calor en el intercambiador 8 en contracorriente con respecto a su paso después de la parte de compresión. Después de calentar el fluido, vuelve a la parte de compresión y puede comenzar de nuevo un ciclo.

El circuito puede comprender además un almacén de gas de trabajo a temperatura ambiente (no representado para simplificar) para limitar la presión en los circuitos durante la parada del refrigerador, por ejemplo.

El refrigerador utiliza, preferentemente, como fluido de trabajo un fluido en fase gaseosa que circula en circuito cerrado. Este está constituido, por ejemplo, por un gas puro o una mezcla de gas puro. Los gases más adecuados para esta tecnología son: el neón, el nitrógeno, el oxígeno y el argón. También se pueden utilizar el monóxido de carbono y el metano.

El refrigerador está diseñado y, por lo tanto, controlado, para obtener un ciclo de trabajo del fluido que se aproxima al ciclo de Ericsson inverso. Es decir: una compresión isotérmica, un enfriamiento isobárico, una expansión isotérmica y un calentamiento isobárico.

Según una particularidad ventajosa, el refrigerador utiliza para el accionamiento al menos de los compresores 3, 5, 7 (es decir, para el accionamiento de las ruedas de los compresores) varios motores 70 llamados de alta velocidad.

Tal como se muestra esquemáticamente en la figura 2, cada motor de alta velocidad 70 recibe en uno de los extremos de su árbol de salida una rueda de compresor 31 y, en el otro extremo de su árbol otra rueda de compresor o una rueda de turbina 9. Esta disposición ofrece numerosas ventajas. Esta configuración permite en el refrigerador un acoplamiento directo entre el motor 70 y las ruedas del compresor 3, 5, 7 o entre el motor 70 y las ruedas de las turbinas 9, 11, 13. Esto permite superar el problema de un multiplicador o reductor de velocidad (lo

que limita el número de piezas móviles necesarias). Esta configuración permite asimismo un aumento del trabajo mecánico de la turbina o turbinas 9, 11, 13 y, por consiguiente, un aumento del rendimiento energético global del refrigerador. Según esta configuración, el refrigerador tiene un funcionamiento sin aceite, lo que permite garantizar la pureza del gas de trabajo y elimina la necesidad de una operación de desengrasado.

- 5 El número de motores de alta velocidad es, principalmente, una función del rendimiento energético deseado para el refrigerador. Cuanto mayor es este rendimiento, mayor debe ser el número de motores de alta velocidad.

La relación entre el número de etapas de compresión (compresores) y el número de etapas de expansión (turbinas) depende de la temperatura fría objetivo. Por ejemplo, para un refrigerador, no reivindicado, cuya fuente de frío está a 273 K, el número de etapas de compresión será sustancialmente igual al número de etapas de expansión. Para un refrigerador cuya fuente de frío es de 65 K, el número de etapas de compresión es aproximadamente 3 veces mayor que el número de etapas de expansión.

- 10

La figura 4 ilustra otro modo de realización que puede ser utilizado, por ejemplo, para enfriar o mantener en temperatura cables superconductores a una temperatura criogénica de aproximadamente 65 K. Para este nivel de temperatura, el número de etapas de compresión (compresores) debe ser aproximadamente tres veces mayor que el número de etapas de expansión (turbinas). Esto se puede hacer de acuerdo con varias configuraciones posibles. Por ejemplo, tres compresores y una turbina o seis compresores y dos turbinas, ...

- 15

La elección del número de órganos dependerá del rendimiento energético deseado. Por lo tanto, una solución que utiliza tres compresores y una turbina tendrá un rendimiento energético menor que una solución que utiliza seis compresores y dos turbinas.

- 20 En el ejemplo de la figura 4, el refrigerador comprende seis compresores 101, 102, 103, 104, 105, 106 y dos turbinas 116, 111 y cuatro motores de alta velocidad 107, 112, 114, 109. Los dos primeros compresores 101, 102 (es decir, las ruedas de los compresores) están montados respectivamente en los dos extremos de un primer motor de alta velocidad 107. Los dos compresores 103, 104 siguientes están acoplados respectivamente en los dos extremos de un segundo motor de alta velocidad 112. El compresor siguiente 105 y la turbina 116 (es decir, la rueda de la turbina) están montados respectivamente en los dos extremos de un tercer motor de alta velocidad 114. Finalmente, la última turbina 111 y el sexto compresor 106 están montados respectivamente en los dos extremos de un cuarto motor 109.

- 25

El recorrido del gas de trabajo durante un ciclo en el circuito de bucle cerrado se puede describir como sigue.

- 30 Durante una primera etapa, el gas es comprimido progresivamente pasando sucesivamente por los cuatro compresores en serie 101, 102, 103, 104, 105, 106.

Tras cada etapa de compresión (a la salida de cada compresor), el gas de trabajo es enfriado en un intercambiador de calor respectivo 108 (por intercambio de calor con aire o agua, por ejemplo) para aproximarse a una compresión isotérmica. Después de esta parte de compresión, el gas es enfriado isobáricamente a través de un intercambiador de placas en contracorriente 103. Después de esta parte de enfriamiento, el gas de refrigeración es expandido progresivamente en las dos turbinas centrípetas en serie 116, 111. Después de cada etapa de expansión, el gas de trabajo es calentado por intercambio de calor en un intercambiador 110 (por ejemplo, por intercambio de calor con la fuente de frío), de manera que se realiza una expansión sustancialmente isotérmica. Al final de esta expansión isotérmica, el gas de trabajo es calentado en el intercambiador 113 y, a continuación, puede comenzar de nuevo un nuevo ciclo mediante una compresión.

- 35

- 40 La figura 5 representa el ciclo (temperatura T y entropía S) del fluido de trabajo del refrigerador de la figura 5. Como anteriormente para la figura 3, se distinguen en la zona A de compresión seis dientes de sierra correspondientes a las seis compresiones y enfriamientos sucesivos. En la zona C de expansión se muestran dos dientes de sierra correspondientes a las dos expansiones y el recalentamiento sucesivos.

- 45 La invención mejora los refrigeradores criogénicos en términos de rendimiento energético, fiabilidad y volumen. La invención permite reducir las operaciones de mantenimiento y eliminar la utilización de aceites. Por supuesto, uno o los dos extremos de los árboles de salida de los motores pueden accionar directamente más de una ruta (es decir, es decir, varios compresores o varias turbinas.)

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de refrigeración criogénica para transferir calor de una fuente de frío (15) a una fuente de calor (1) por medio de un fluido de trabajo que circula en un circuito (200) de trabajo cerrado, comprendiendo el circuito de trabajo (200) en serie: una parte de compresión sustancialmente isotérmica del fluido, una parte de enfriamiento sustancialmente isobárica del fluido, una parte de expansión sustancialmente isotérmica del fluido, y una parte de calentamiento sustancialmente isobárica del fluido, comprendiendo la parte de compresión del circuito (200) de trabajo al menos dos compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) dispuestos en serie y al menos un intercambiador (6, 4, 2, 108) de enfriamiento del fluido comprimido dispuesto a la salida de cada compresor (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106), comprendiendo la parte de expansión del circuito (200) de trabajo al menos una turbina (9, 11, 13, 116, 111) de expansión y al menos un intercambiador (10, 12, 14, 110) para calentar el fluido expandido, los compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) y la turbina o las turbinas (9, 11, 13) de expansión son accionadas por varios motores (70, 107, 112, 114, 109) llamados de alta velocidad, es decir, que giran a una velocidad de rotación de 10 000 rpm o varias decenas de miles de revoluciones por minuto, comprendiendo cada motor un árbol de salida, uno de cuyos extremos lleva y arrastra en rotación por acoplamiento directo un primer compresor (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) y el otro de cuyos extremos lleva y arrastra en rotación por acoplamiento directo un segundo compresor o una turbina (9, 11, 13, 116, 111) de expansión, los compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) siendo del tipo de compresión centrífuga, la turbina o las turbinas (9, 11, 13, 116, 111) de expansión siendo del tipo de expansión centrípeta, los árboles (71) de salida de los motores (70, 107, 112, 114, 109) estando montados en cojinetes (171) de tipo magnético o de tipo dinámico de gas, siendo utilizados dichos cojinetes (171) para sostener los compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) y la o las turbinas (9, 11, 13, 116, 111), la parte de enfriamiento y la parte de calentamiento comprenden un intercambiador de calor (8, 113) común en el que el fluido de trabajo circula en contracorriente dependiendo de si se está enfriando o calentando, caracterizado por que el número de etapas de compresión, es decir, compresores, es mayor que el número de etapas de expansión, es decir, turbinas, estando dichos compresores dispuestos en serie.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que el circuito de trabajo comprende un volumen que forma una capacidad de almacenamiento para almacenar el fluido de trabajo.
3. Dispositivo según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el fluido de trabajo está en fase gaseosa y está constituido por un gas puro o por una mezcla de gases puros entre: el helio, el neón, el nitrógeno, el oxígeno, el argón, el monóxido de carbono, el metano o cualquier otro fluido que presenta una fase gaseosa a la temperatura de la fuente de frío.
4. Procedimiento de refrigeración criogénica destinado a transferir calor de una fuente de frío (15) hacia una fuente de calor (1) a través de un fluido de trabajo que circula en un circuito (200) de trabajo cerrado, comprendiendo el circuito de trabajo (200), en serie: una parte de compresión que comprende al menos dos compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) dispuestos en serie, una parte de enfriamiento del fluido, una parte de expansión que comprende al menos una turbina (9, 11, 13, 116, 111), y una parte de calentamiento, comprendiendo el procedimiento un ciclo de trabajo que comprende una primera etapa de compresión sustancialmente isotérmica del fluido en la parte de compresión por enfriamiento del fluido comprimido a la salida de los compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106), una segunda etapa de enfriamiento sustancialmente isobárico del fluido en la parte de enfriamiento, una tercera etapa de expansión sustancialmente isotérmica del fluido en la parte de expansión por calentamiento del fluido expandido a la salida de la o las turbinas, y una cuarta etapa de calentamiento sustancialmente isobárico del fluido que ha intercambiado calor con la fuente de frío (15), siendo el ciclo de trabajo del fluido (temperatura T, entropía S) del tipo de Ericsson inverso, durante la primera etapa de compresión sustancialmente isotérmica, siendo el fluido comprimido enfriado a la salida de cada compresor (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) para mantener las temperaturas del fluido a la entrada y a la salida de cada compresor sustancialmente iguales y preferiblemente dentro de un rango de aproximadamente 10 K, calentándose el fluido expandido a la salida de cada turbina (9, 11, 13, 116, 111) durante la tercera etapa de expansión sustancialmente isotérmica, para mantener las temperaturas del fluido a la entrada y a la salida de cada turbina (9, 11, 13, 116, 111) sustancialmente iguales en un rango de aproximadamente 5 K, los compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) y la turbina o las turbinas (9, 11, 13, 116, 111) de expansión siendo accionadas por varios motores (70, 107, 112, 114, 109) denominados de alta velocidad, es decir, que giran a una velocidad de rotación de 10 000 revoluciones por minuto o de varias decenas de miles de revoluciones por minuto, comprendiendo cada motor un árbol de salida del cual uno de sus extremos lleva y arrastra en rotación por acoplamiento directo un primer compresor (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) y el otro extremo lleva y arrastra en rotación por acoplamiento directo un compresor o una turbina (9, 11, 13, 116, 111) de expansión, comprendiendo una etapa de transferencia de una parte del trabajo mecánico de la turbina o las turbinas (9, 11, 13, 116, 111) hacia el compresor o los compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) a través del árbol o los árboles de salida (71), los árboles de salida (71) de los motores (70, 107, 112, 114, 109) estando montados sobre cojinetes (171) de tipo magnético o de tipo dinámico de gas, siendo utilizados dichos cojinetes (171) para soportar los compresores y las turbinas, comprendiendo la parte de enfriamiento y la parte de calentamiento un intercambiador de calor (8, 113) común en el que el fluido de trabajo circula en contracorriente cuando es enfriado o calentado, en el que el número de etapas de compresión, es decir, compresores, es mayor que el número de etapas de expansión, es decir, turbinas.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que después de la segunda etapa de enfriamiento, el

fluido de trabajo es llevado a una temperatura baja del orden de 60 K y por que el circuito (200) de trabajo comprende un número de compresores (7, 5, 3, 101, 102, 103, 104, 105, 106) tres veces mayor que el número de turbinas (9, 11, 13, 116, 111) de expansión.

5 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, caracterizado por que el fluido de trabajo se utiliza para enfriar o mantener fríos elementos superconductores fríos a una temperatura del orden de 65 K.

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, caracterizado por que la caída de temperatura del fluido que constituye la fuente de frío (15) es sustancialmente idéntica al aumento de la temperatura del gas de trabajo en los intercambiadores (110, 10, 12, 14) del circuito de trabajo (200).

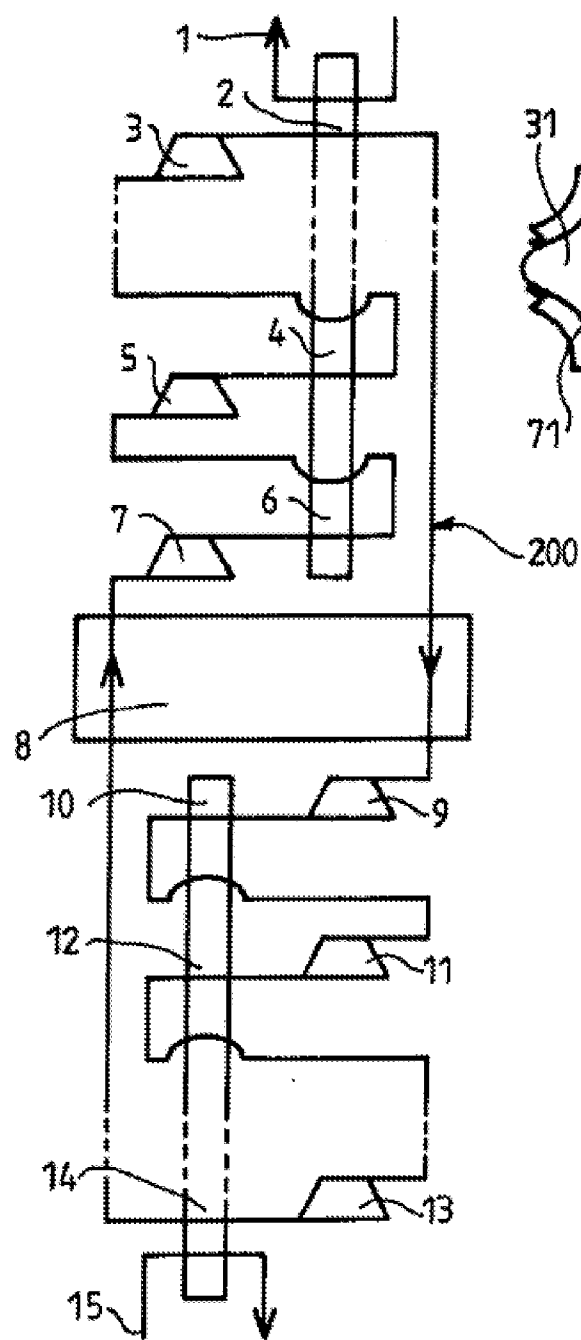


FIG. 1

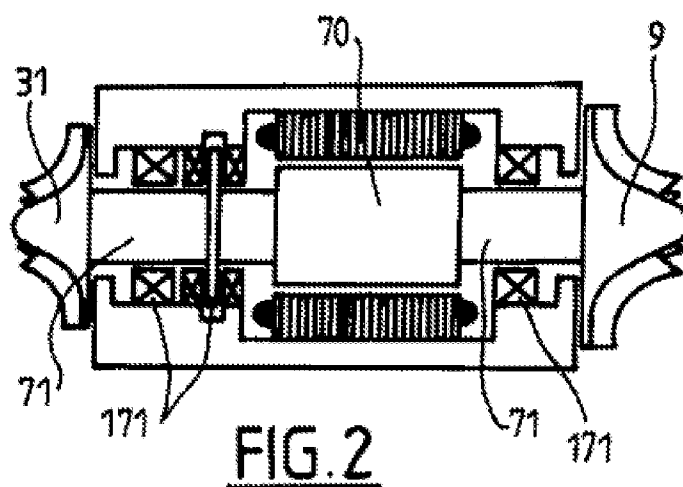


FIG. 2

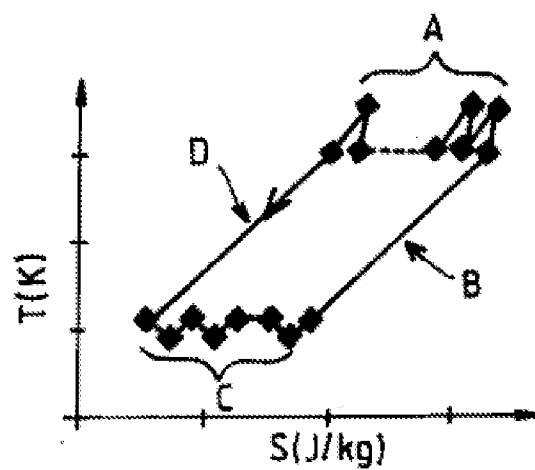


FIG. 3

