



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 356**

51 Int. Cl.:  
**F25B 9/14** (2006.01)  
**F25B 45/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06851116 .1**  
96 Fecha de presentación : **19.07.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1931926**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.06.2008**

54 Título: **Sistema de refrigeración para dispositivos superconductores.**

30 Prioridad: **26.07.2005 US 188633**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**10.05.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**10.05.2011**

73 Titular/es: **PRAXAIR TECHNOLOGY, Inc.**  
**39 Old Ridgebury Road**  
**Danbury, Connecticut 06810-5113, US**

72 Inventor/es: **Royal, John, H.;**  
**Fitzgerald, Richard, C.;**  
**White, Norman, Henry;**  
**Zia, Jalal y**  
**Ahmed, Mushtaq**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 358 356 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

### Campo Técnico

Este invento se refiere de manera general a la provisión de enfriamiento o refrigeración a uno o más dispositivos superconductores.

### 5 Técnica Anterior

10 La superconductividad es el fenómeno por el cual ciertos metales, aleaciones y compuestos, tales como YBCO, REBCO y BSCCO, a muy bajas temperaturas pierden resistencia eléctrica de manera que tienen conductividad eléctrica infinita. En el uso de dispositivos superconductores es importante que el enfriamiento, es decir, la refrigeración, proporcionado al dispositivo superconductor no se reduzca por debajo de un cierto nivel para que el alambre no pierda su capacidad de superconducir y para que no se vea comprometido el funcionamiento función del dispositivo. A menudo esta refrigeración es proporcionada por un líquido criogénico y es consumida en el dispositivo por calentamiento del líquido. La mayoría de los dispositivos no tolerarán una fase gaseosa del refrigerante debido a consideraciones eléctricas.

15 El documento WO98/48224 A2 se refiere a un sistema para proporcionar refrigeración a una carga superconductora, la cual comprende un crioenfriador que proporciona refrigeración a un intercambiador de calor, el cual sirve para condensar neón refrigerante vaporizado por la carga. El neón refrigerante condensado se usa para rellenar de forma alternativa una de dos cámaras de reserva con líquido refrigerante, mientras a la carga se le proporciona refrigerante líquido procedente de la otra cámara de reserva.

### Resumen del Invento

20 Un aspecto del invento es:

1. Un método para proporcionar refrigeración a un dispositivo superconductor de acuerdo con la reivindicación

Otro aspecto del invento es:

Aparato para proporcionar refrigeración a un dispositivo superconductor, de acuerdo con la reivindicación 6.

25 Tal como se usa en este documento el término "temperatura criogénica" significa una temperatura de 120 K o menor.

Tal como se usa en este documento el término "crioenfriador" significa una máquina refrigeradora capaz de alcanzar y mantener temperaturas criogénicas.

30 Tal como se usa en este documento el término "superconductor" significa un material que pierde toda su resistencia a la conducción de una corriente eléctrica una vez que dicho material alcanza una temperatura criogénica.

Tal como se usa en este documento el término "refrigeración" significa la capacidad de extraer calor de una entidad que se encuentra a temperatura menor que la del ambiente.

35 Tal como se usa en este documento el término "transmisión indirecta de calor" significa el poner entidades en una relación de transmisión de calor sin contacto físico o mezclado de las entidades entre sí.

Tal como se usa en este documento el término "subenfriar" significa enfriar un líquido hasta que esté a una temperatura menor que la temperatura de saturación de ese líquido para la presión existente.

Tal como se usa en este documento el término "transmisión directa de calor" significa la transmisión de refrigeración mediante el contacto de entidades enfriadoras y calentadoras.

40 Tal como se usa en este documento el término "dispositivo superconductor" significa un dispositivo que usa material superconductor, por ejemplo, como un cable superconductor de alta o de baja temperatura o con forma de alambre para los devanados de un rotor para un generador o motor, o para los devanados de un imán o transformador.

### Breve Descripción de los Dibujos

45 La figura 1 es una representación esquemática de una realización preferente del sistema de enfriamiento criogénico de superconductores del invento.

La figura 2 es una representación esquemática de una realización del sistema de enfriamiento criogénico de superconductores del invento que muestra una opción de suministro del líquido criogénico.

Los números de los dibujos son los mismos para los elementos comunes.

### **Descripción Detallada**

5 Se describirá el invento con mayor detalle haciendo referencia a los dibujos. Haciendo ahora referencia a la figura 1, se muestra en ella el refrigerador 1 primario que genera la refrigeración, el cual enfría líquido criogénico para su paso a uno o más dispositivos superconductores.

10 El refrigerador 1 primario es preferiblemente un crioenfriador. Para poner en práctica este invento se puede usar cualquier crioenfriador adecuado. Entre tales crioenfriadores se pueden nombrar los crioenfriadores de Stirling, los crioenfriadores de Gifford-McMahon y los refrigeradores de tubo de pulsos. Un refrigerador de tubo de pulsos es un sistema de refrigeración cerrado que hace oscilar un gas de trabajo en un ciclo cerrado y al hacer eso transmite una carga calorífica desde una sección fría a una sección caliente. El dispositivo de accionamiento o generador de ondas de presión puede ser un pistón o algún otro dispositivo mecánico de compresión, o un dispositivo de generación de ondas acústicas o termoacústicas, o cualquier otro dispositivo apropiado para proporcionar un pulso o una onda de compresión a un gas de trabajo. Es decir, el generador de ondas de presión proporciona energía al gas de trabajo del interior del tubo de pulsos provocando oscilaciones de presión y velocidad. El helio es el gas de trabajo preferido; sin embargo, dentro del refrigerador de tubo de pulsos se puede usar cualquier gas de trabajo eficaz y entre éstos se pueden nombrar nitrógeno, oxígeno, argón y neón o mezclas tales como el aire que contengan uno o más de estos gases.

20 Preferiblemente, el gas de trabajo oscilatorio es refrigerado en un postenfriador y posteriormente en un regenerador según se va moviendo hacia el extremo frío. La geometría y configuración pulsante del sistema de refrigeración de tubo de pulsos es tal que el gas de trabajo oscilatorio del cabezal frío se expande durante alguna fracción del ciclo pulsante y el calor es absorbido por el gas de trabajo por transmisión indirecta de calor, lo cual proporciona refrigeración al líquido criogénico. Preferiblemente, el sistema de refrigeración de tubo de pulsos emplea un tubo y un depósito de inercia para mantener el desplazamiento del gas y los pulsos de presión en fases apropiadas. El tamaño del depósito es suficientemente grande para que se produzca en él esencialmente muy poca oscilación de presión durante el flujo oscilante.

25 Los componentes del crioenfriador incluyen el equipo de compresión mecánico (generador de ondas de presión), el tubo y depósito de inercia, el sistema de extracción de calor final y los componentes eléctricos necesarios para impulsar y controlar el crioenfriador. En primer lugar, la energía eléctrica se convierte en energía acústica en el generador de ondas de presión. Esta energía acústica es transmitida por el gas de trabajo oscilatorio al terminal frío a través de un tubo de transmisión. El tubo de transmisión conecta el generador de ondas de presión al postenfriador situado en el extremo templado del terminal frío donde se elimina el calor como se ha descrito previamente.

30 El líquido criogénico, el cual ha sido subenfriado por la refrigeración generada por el refrigerador 1 primario, se hace pasar por la tubería 6 hacia uno o más dispositivo superconductores, mostrados de una manera representativa en la figura 1 como elementos 21, 22 y 23 con tuberías de entrada 24, 25 y 26 respectivamente. Entre los líquidos criogénicos que se pueden usar en la puesta en práctica de este invento se pueden nombrar nitrógeno líquido, helio líquido, argón líquido y neón líquido, así como mezclas que comprendan uno o más de estos líquidos.

35 Ejemplos de dispositivos superconductores que se pueden usar en la puesta en práctica de este invento incluyen transformadores, generadores, motores, controladores/limitadores de corriente de fallo, transmisores electrónicos/de teléfono móvil, cables superconductores de alta o de baja temperatura, sensores infrarrojos, sistemas de almacenamiento de energía magnéticos superconductores e imanes tales como los que se usarían en sistemas de imagen por resonancia magnética u otras aplicaciones industriales. Cuando una pluralidad de dispositivos superconductores reciben enfriamiento procedente del líquido criogénico, todos los dispositivos podrían ser del mismo tipo o dos o más de los dispositivos podrían ser tipos diferentes. Además, los dispositivos podrían estar conectados de una u otra manera funcional y podrían también ser parte de una instalación tal como una subestación superconductora o una super subestación.

40 Después de proporcionar enfriamiento al dispositivo o dispositivos superconductores, el líquido criogénico ahora no subenfriado es devuelto al refrigerador primario en un bucle de retorno donde se vuelve a subenfriar y se hace pasar de nuevo al dispositivo o dispositivos superconductores. En la realización del invento ilustrada en la figura 1 el bucle de retorno comprende tuberías 27, 28 y 29 de salida, procedentes respectivamente de los dispositivos 21, 22 y 23 superconductores, cada una de las cuales conecta con la tubería 7 para su retorno al refrigerador 1 primario.

45 Con el tiempo, el líquido criogénico que se recircula entre el refrigerador primario y el dispositivo o dispositivos superconductores necesitará una reposición debido a las pérdidas por vaporización. Esta reposición procederá del líquido criogénico almacenado en el depósito 2 de almacenamiento de reserva. También se proporcionará líquido criogénico desde el depósito 2 de almacenamiento de reserva al dispositivo o dispositivos superconductores en el caso de fallo u otra parada del refrigerador primario.

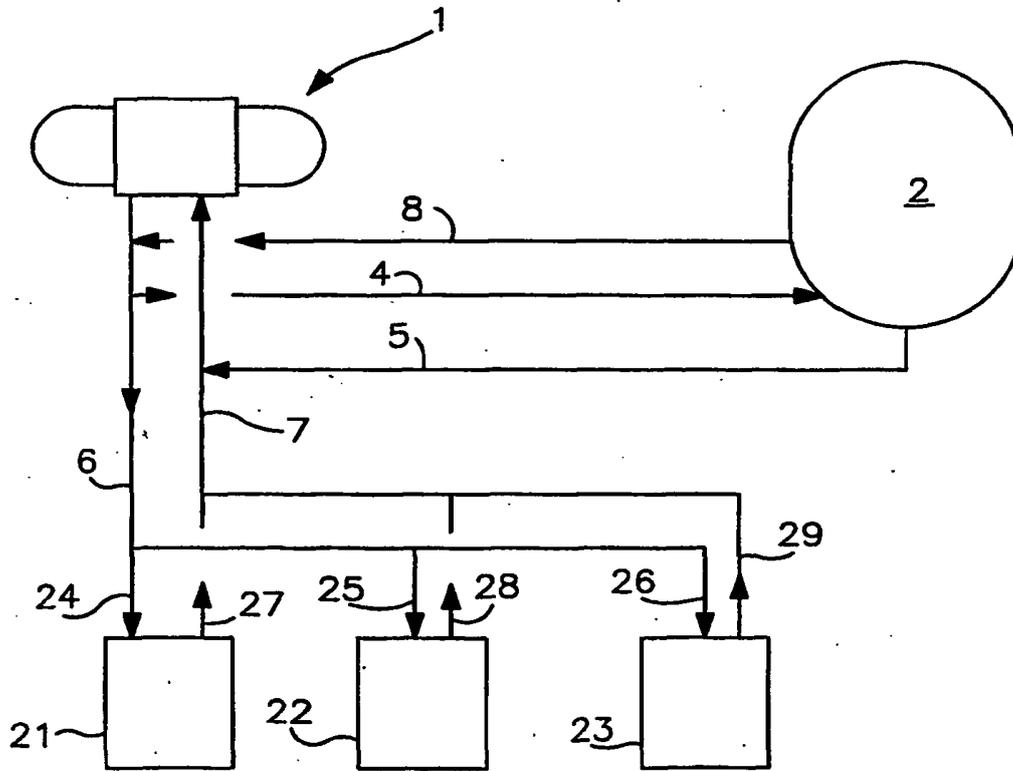
5 Cuando se proporciona líquido criogénico desde el depósito 2 de almacenamiento de reserva al dispositivo  
o dispositivos superconductores es imperativo que el líquido criogénico se encuentre en un estado subenfriado para  
garantizar una cantidad adecuada de enfriamiento para el dispositivo o dispositivos superconductores y para  
garantizar que no se forme ningún gas en el interior de los dispositivos. En la puesta en práctica de este invento el  
líquido criogénico situado dentro del depósito de almacenamiento de reserva es mantenido en un estado  
10 subenfriado. El líquido criogénico, el cual ha sido subenfriado mediante la refrigeración generada por el refrigerador  
1 primario, se hace pasar al interior del depósito 2 de almacenamiento de reserva, por ejemplo a través de la tubería  
4 que sale de la tubería 6. De manera simultánea, se hace pasar algo de líquido criogénico desde el depósito 2 de  
almacenamiento de reserva al refrigerador 1 primario para recoger más subenfriamiento, por ejemplo a través de la  
15 tubería 5, la cual está conectada con la tubería 7. De esta manera se mantiene el contenido del depósito 2 de  
almacenamiento de reserva en un estado subenfriado. Cuando es necesario, se hace pasar líquido criogénico  
subenfriado desde el depósito 2 de almacenamiento de reserva al dispositivo o dispositivos superconductores para  
proporcionarle(s) enfriamiento, por ejemplo a través de la tubería 8, la cual conecta con la tubería 6. El paso de  
líquido criogénico subenfriado desde el depósito de almacenamiento de reserva al dispositivo o dispositivos  
20 superconductores se puede producir durante el paso de líquido criogénico subenfriado desde el refrigerador primario  
al dispositivo o dispositivos superconductores, durante al menos una parte del tiempo, y/o se puede producir  
después de dicho paso. Por supuesto, el paso de líquido criogénico subenfriado desde el depósito de  
almacenamiento de reserva al dispositivo o dispositivos superconductores se puede producir antes del paso del  
líquido criogénico desde el refrigerador primario al dispositivo o dispositivos superconductores, por ejemplo durante  
la puesta en marcha del sistema.

De vez en cuando se repone el líquido criogénico del interior del depósito de almacenamiento de reserva.  
La figura 2 ilustra un sistema de reposición en el cual el líquido criogénico de reposición se proporciona desde el  
camión cisterna 15. Preferiblemente, el líquido criogénico de reposición es subenfriado antes de hacerlo pasar al  
interior del depósito de almacenamiento de reserva. En la realización ilustrada en la figura 2, el líquido criogénico  
25 procedente del camión cisterna 15 se hace pasar por la tubería 16 de llenado al refrigerador 10 auxiliar, donde es  
subenfriado, y desde allí se hace pasar por la tubería 11 al interior del depósito 2 de almacenamiento de reserva. El  
refrigerador 10 auxiliar es alimentado por una fuente 12 de energía auxiliar. Preferiblemente, el refrigerador 10  
auxiliar comprende un sistema de bombeo de vacío ya que esto reduce de manera apreciable el tamaño de la fuente  
de energía auxiliar necesaria. Además, como se ilustra en la figura 2, en caso de que el líquido criogénico sea  
30 hidrógeno líquido, el gas hidrógeno expulsado desde el refrigerador con bomba de vacío se puede hacer pasar por  
la tubería 13 a la célula de combustible 14 para dar energía a dicha célula de combustible, cuya salida puede  
impulsar el motor de la bomba de vacío. De forma alternativa, se puede hacer pasar el líquido criogénico desde el  
camión cisterna al depósito de almacenamiento de reserva sin subenfriarlo, de manera que todo el subenfriamiento  
35 sea realizado por el refrigerador primario, o el líquido criogénico procedente del camión cisterna puede ser  
subenfriado por un refrigerador auxiliar portátil montado en el camión antes de hacerlo pasar al interior del depósito  
de almacenamiento de reserva.

El invento está limitado únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

- 5
1. Un método para proporcionar refrigeración a un dispositivo (21, 22, 23) superconductor que comprende:
- (A) utilizar la refrigeración generada por un refrigerador (1) primario para enfriar un líquido criogénico, y hacer pasar el líquido criogénico enfriado a al menos un dispositivo (21, 22, 23) superconductor para proporcionar enfriamiento a dicho dispositivo superconductor;
- 10
- (B) utilizar la refrigeración generada por el refrigerador (1) primario para subenfriar el líquido criogénico, haciendo pasar el líquido criogénico subenfriado a un depósito (2) de almacenamiento de reserva, y manteniendo el líquido dentro del depósito (2) de almacenamiento de reserva en un estado subenfriado; y
- (C) hacer pasar el líquido subenfriado desde el depósito (2) de almacenamiento de reserva hasta el dispositivo (21, 22, 23) superconductor para proporcionar enfriamiento al dispositivo (21, 22, 23) superconductor de manera simultánea al paso (A), o después del paso (A), o antes del paso (A).
- 15
2. El método de la reivindicación 1, en el cual el líquido criogénico procedente del refrigerador (1) primario se hace pasar a una pluralidad de dispositivos (21, 22, 23) superconductores discretos.
3. El método de la reivindicación 1 ó 2, en el cual el líquido criogénico comprende al menos uno de entre nitrógeno líquido, helio líquido, argón líquido y neón líquido.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 que comprende además hacer pasar líquido criogénico desde un camión cisterna (15) al interior del depósito (2) de almacenamiento de reserva.
- 20
5. El método de la reivindicación 4, en el cual el líquido criogénico procedente del camión cisterna (15) es subenfriado antes de hacerlo pasar al interior del depósito (2) de almacenamiento de reserva.
6. Aparato para proporcionar refrigeración a un dispositivo (21, 22, 23) superconductor que comprende:
- (A) un refrigerador (1) primario, y al menos un dispositivo (21, 22, 23) superconductor, y medios (6, 24, 25, 26) para hacer pasar líquido criogénico desde el refrigerador (1) primario al dispositivo (21, 22, 23) superconductor;
- 25
- (B) un depósito (2) de almacenamiento de reserva, y medios (4) para hacer pasar líquido criogénico desde el refrigerador (1) primario al depósito (2) de almacenamiento de reserva; y
- (C) medios (8, 24, 25, 26) para hacer pasar líquido criogénico desde el depósito (2) de almacenamiento de reserva al dispositivo (21, 22, 23) superconductor;
- caracterizado porque**
- 30
- los citados medios (6, 24, 25, 26) para hacer pasar líquido criogénico desde el refrigerador primario al dispositivo superconductor puentean el depósito (2) de almacenamiento de reserva.
7. El aparato de la reivindicación 6, en el cual el refrigerador (1) primario es un crioenfriador.
8. El aparato de la reivindicación 7, en el cual el crioenfriador (1) es un refrigerador de tubo de pulsos.
- 35
9. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8 que comprende además un refrigerador (10) auxiliar y medios (11) para hacer pasar líquido criogénico subenfriado desde el refrigerador (10) auxiliar al interior del depósito (2) de almacenamiento de reserva.
10. El aparato de la reivindicación 9 que comprende además una célula de combustible (14) y medios (13) para hacer pasar fluido desde el refrigerador (10) auxiliar a la célula de combustible (14).
- 40
11. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10 que comprende una pluralidad de dispositivos (21, 22, 23) superconductores para recibir líquido criogénico procedente del refrigerador (1) primario y procedente del depósito (2) de almacenamiento de reserva.
12. El aparato de la reivindicación 11, en el cual los dispositivos (21, 22, 23) superconductores son todos del mismo tipo.
- 45
13. El aparato de la reivindicación 11, en el cual los dispositivos (21, 22, 23) superconductores no son todos del mismo tipo.
14. El aparato de la reivindicación 11, en el cual los dispositivos (21, 22, 23) superconductores comprenden una subestación superconductora.



**FIG. 1**

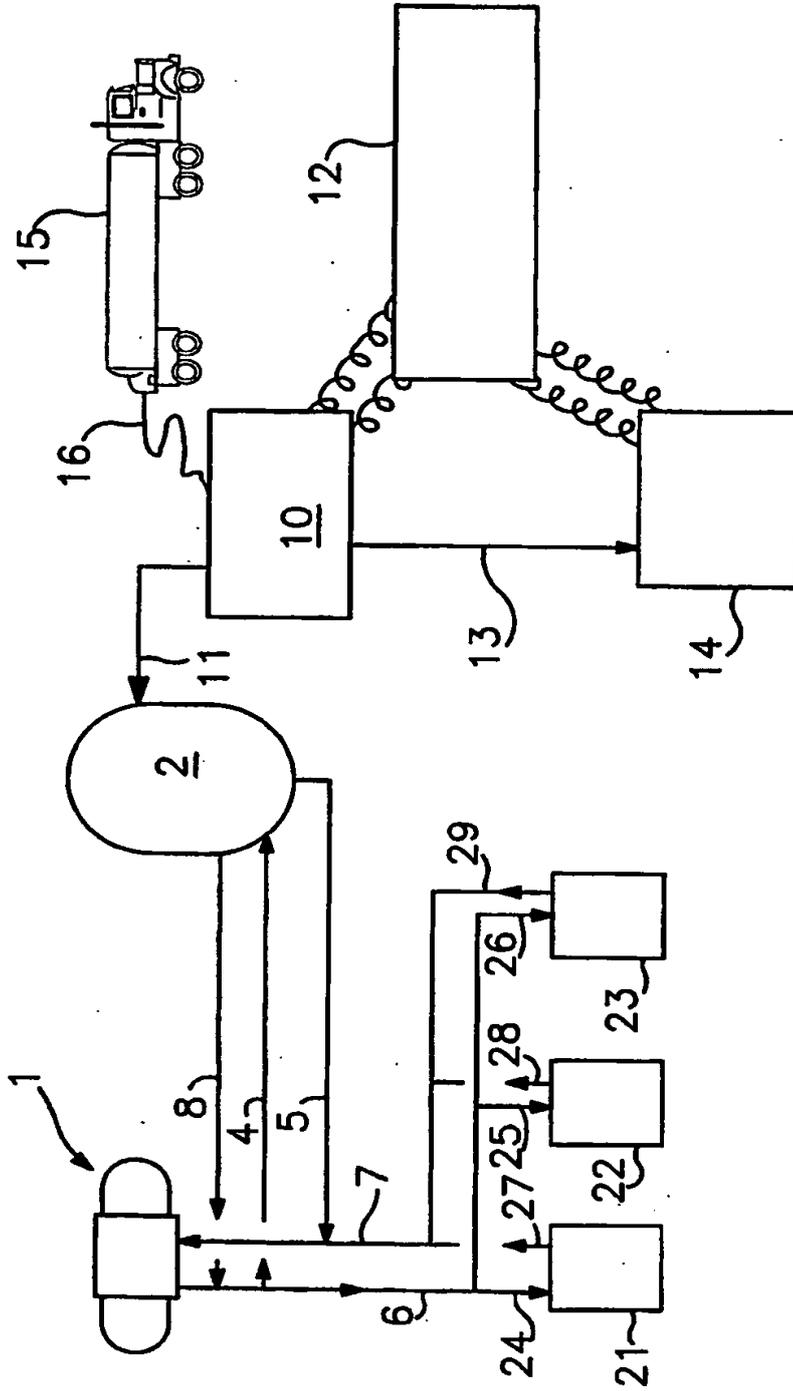


FIG. 2