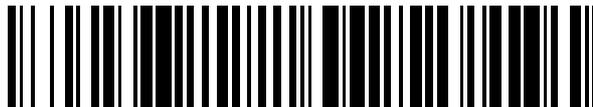


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 702 934**

51 Int. Cl.:

**H01F 6/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.08.2015 PCT/EP2015/069716**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.03.2016 WO16034503**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2015 E 15756641 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018 EP 3189529**

54 Título: **Conjunto metálico que comprende un superconductor**

30 Prioridad:

**01.09.2014 FI 20145755**

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

**06.03.2019**

73 Titular/es:

**MMC COPPER PRODUCTS OY (100.0%)  
Kuparitie 5  
28330 Pori, FI**

72 Inventor/es:

**SOMERKOSKI, JUKKA y  
KILPINEN, ANTTI**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 702 934 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

Conjunto metálico que comprende un superconductor

### Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un conjunto metálico que comprende un cable superconductor aislado según el preámbulo de la reivindicación 1. También se refiere a una bobina para un electroimán que comprende tal conjunto metálico y a un electroimán enfriado por conducción. Los conjuntos metálicos según la invención también pueden usarse en imanes enfriados por criógeno. El conjunto metálico de la presente invención está destinado principalmente, pero no exclusivamente, a su uso en aplicaciones de imán de CC, tal como en las aplicaciones de resonancia magnética nuclear (RMN) e imagen por resonancia magnética (IRM).

### 10 Técnica anterior

Los superconductores de baja temperatura, como NbTi y Nb<sub>3</sub>Sn o derivados de los mismos, se usan, habitualmente, a 4,2 K (temperatura de helio líquido) para crear campos magnéticos fuertes en aplicaciones de superconductores tales como los imanes de investigación, las aplicaciones de resonancia magnética nuclear (RMN) y de imagen por resonancia magnética (IRM). Se pueden utilizar diversas técnicas de enrollado de bobina, tales como el enrollado en húmedo, el enrollado en seco o la impregnación con epoxi, para diseñar imanes superconductores para usar en tales aplicaciones. En todos estos casos, la bobina comprende un cable superconductor cuya periferia exterior está recubierta con una capa de aislamiento eléctrico, tales como resinas de polivinil acetal (Formvar), polietilenimina (PEI), tereftalato de polietileno (PET), fibra de vidrio, poliéster, poliimida (PI), etc., creando también un aislamiento térmico entre las vueltas de cable y las capas del imán. El uso exitoso de tales estructuras aisladas depende en gran medida de la capacidad del helio líquido para enfriar efectivamente los enrollados de la bobina.

Debido a la escasez de helio líquido, existe una lucha constante para minimizar las necesidades de helio líquido en las aplicaciones de superconductores. Por ejemplo, ahora hay imanes que se pueden usar en seco sin helio líquido, es decir, los llamados imanes con refrigeración criogénica, o imanes con refrigeración por conducción, en los que los enrollados de bobina están en vacío y el enfriamiento se efectúa mediante bombas criogénicas a través de elementos de conducción térmica conectados a los enrollados del imán. Por ejemplo, el enfriamiento de las partes internas del enrollado puede mejorarse al disponer vías de paso de conducción térmica separadas con elementos de conducción térmica adicionales, por ejemplo, cobre o aluminio. Sin embargo, es difícil lograr un enfriamiento suficientemente efectivo del imán con tal procedimiento. Otro problema consiste en que los imanes provistos usando este procedimiento experimentarán una densidad de corriente total reducida y, por lo tanto, de un campo magnético más bajo, o alternativamente requerirán un mayor volumen y un cable superconductor más costoso para crear el mismo campo magnético.

Se conoce un conjunto metálico a partir, por ejemplo, del documento US 3 743 986.

### Sumario de la invención

35 Un objeto de la presente invención consiste en proporcionar un conjunto metálico que comprende un cable superconductor aislado que se mejora en al menos algún aspecto con respecto a los conjuntos de metal de la técnica anterior que comprenden cables superconductores aislados. En particular, un objeto consiste en proporcionar un conjunto metálico para uso dentro de un imán superconductor enfriado por conducción que permita un enfriamiento más eficiente del imán. Otro objeto consiste en proporcionar un conjunto metálico para usar dentro de un imán superconductor enfriado por conducción mediante el cual se puede reducir el tamaño del imán en comparación con los imanes enfriados por conducción conocidos según se ha explicado anteriormente.

Estos objetos se consiguen mediante un conjunto metálico según la reivindicación 1.

Usando el conjunto metálico según la invención, es posible lograr un imán superconductor enfriado por conducción con una conducción térmica mejorada dentro de los enrollados de bobina del imán. El elemento de conducción térmica, que está dispuesto en contacto directo con al menos parte de la capa de aislamiento eléctrico de al menos un cable superconductor aislado, permite la conducción de calor en todas las direcciones dentro de los enrollados de la bobina cuando el conjunto metálico se enrolla en una bobina. Para una bobina con varias capas, las capas internas de la bobina se enfrían a través del elemento de conducción térmica, creando vías de paso de conducción térmica a las capas externas de la bobina, donde se sitúan los elementos de enfriamiento. Desde luego, también es posible situar en su lugar o adicionalmente los elementos de enfriamiento en las capas internas o medias de la bobina, en función de lo que sea más conveniente o rentable desde el punto de vista de la construcción de un imán. Mediante el elemento de conducción térmica que proporciona una conducción térmica isotrópica tridimensional dentro de los enrollados de la bobina, el calor puede eliminarse de manera eficiente con un uso mínimo de helio. Con el conjunto metálico según la invención, el elemento de conducción térmica se integra con al menos un cable superconductor aislado, y un imán que comprende este conjunto enrollado en una bobina se puede hacer, por tanto, mucho más compacto que un imán en el cual los elementos de conducción térmica en la forma de láminas de metal debe insertarse entre capas sucesivas de enrollados de bobinas. El conjunto metálico es, particularmente, adecuado para su uso en aplicaciones de imán de CC.

- Según una realización de la invención, el elemento de conducción térmica tiene un espesor de capa promedio de al menos 0,2 veces el diámetro equivalente del al menos un cable superconductor aislado, preferentemente al menos 0,5 veces. Con tal espesor de capa, las propiedades de conducción térmica del conjunto metálico se vuelven isotrópicas cuando el conjunto metálico se enrolla en una bobina con varias vueltas y capas. El uso de un espesor de capa demasiado pequeño puede resultar en una conducción térmica insuficiente en una dirección transversal de la bobina, y por lo tanto el enfriamiento de los enrollados de la bobina será menos eficiente. El diámetro equivalente del cable superconductor aislado debe entenderse aquí como el diámetro de un cable redondo con un área de sección transversal igual al área de la sección transversal real del cable superconductor aislado. En el caso de un cable redondo, el diámetro equivalente es el diámetro del cable.
- Según una realización de la invención, el elemento de conducción térmica y la matriz metálica dentro del al menos un cable superconductor aislado tienen conjuntamente un volumen de al menos dos veces el volumen del material que presenta propiedades superconductoras dentro de un intervalo de temperatura definido, preferentemente al menos cinco veces. Con tal relación de volumen, el imán se protege si se apaga, es decir, entra en un estado normal, resistivo. Además, esta relación de volumen permite un espesor de capa suficiente del elemento de conducción térmica, de modo que se puedan lograr propiedades de conducción térmica isotrópica.
- Según la invención, el material térmicamente conductor está elegido entre cobre, aleación de cobre, aluminio, aleación de aluminio o un composite que comprende cobre y aluminio. Esos materiales proporcionan la estabilización necesaria y tienen buenas propiedades de conducción térmica a bajas temperaturas. Si se prefiere un bajo peso, se puede usar una aleación de aluminio o un composite que comprenda cobre y aluminio.
- Según una realización preferente de la invención, el material térmicamente conductor está elegido entre cobre de alta pureza, aluminio de alta pureza o composite de aluminio revestido de cobre. El cobre y el aluminio de alta pureza tienen excelentes propiedades de conducción de calor a bajas temperaturas y el composite de aluminio revestido de cobre se puede usar en el caso en que se desea un bajo peso en combinación con una resistencia mecánica elevada.
- Según la invención, la capa de aislamiento eléctrico comprende un aislante que tiene una resistividad de al menos  $10^7 \Omega\text{m}$ , preferentemente al menos  $10^{10} \Omega\text{m}$ . Esto proporciona un excelente aislamiento y resistencia dieléctrica muy por encima de 1 kV. Por lo tanto, la capa es capaz de soportar grandes diferencias de voltaje, como cuando un imán superconductor se apaga, sin atajos desastrosos.
- Según la invención, la capa de aislamiento eléctrico comprende un aislante a base de polímero, preferentemente seleccionado del grupo de resinas de polivinil acetal (Formvar), polietilenimina (PEI), tereftalato de polietileno (PET), fibra de vidrio, poliéster y poliimida (PI). Además de proporcionar un excelente aislamiento eléctrico, los aisladores a base de polímeros tienen la ventaja adicional de proporcionar flexibilidad. Por lo tanto, el conjunto metálico puede manejarse más fácilmente, ya que se reduce el riesgo de dañar la capa aislante eléctrica.
- Según una realización de la invención, el conjunto metálico comprende además una capa con alta resistividad eléctrica dispuesta como un revestimiento en el elemento de conducción térmica. Tal capa debe ser relativamente delgada en comparación con el elemento de conducción térmica y es útil para prevenir las corrientes de Foucault en el elemento de conducción térmica, que de otro modo puede causar un calentamiento no deseado. En el caso en que el conjunto metálico esté destinado principalmente para uso en alto vacío, se prefiere que la capa con alta resistividad eléctrica tenga una presión de evaporación parcial baja. Una capa con alta resistividad eléctrica se entiende aquí como una capa que a bajas temperaturas tiene una resistividad relativamente alta en comparación con la matriz metálica que incorpora los filamentos superconductores, como al menos 10 veces, preferentemente más de 100 veces, una mayor resistividad que la matriz metálica.
- Según una realización de la invención, dicha capa con alta resistividad eléctrica es una capa metálica que comprende cromo, níquel, estaño, indio o aleaciones de los mismos. Todos estos elementos tienen una baja presión de evaporación parcial y una alta resistividad, y pueden aplicarse en forma de revestimientos delgados.
- Según otra realización de la invención, dicha capa con alta resistividad eléctrica es una capa de cerámica u óxido que comprende, por ejemplo, óxido de aluminio, óxido de cromo, óxido de titanio, óxido de circonio u óxido de alúmina-titanio.
- Según otra realización de la invención, dicha capa con alta resistividad eléctrica es una película de polímero orgánico eléctricamente aislante. La película puede estar compuesta por resina de polivinil acetal, PEI, PI o PET o similares. Si bien una película de este tipo también tiene propiedades de aislamiento térmico, si la capa se hace lo suficientemente delgada, tal como un espesor de menos de  $100 \mu\text{m}$ , preferentemente de menos de  $10 \mu\text{m}$ , la conducción térmica general en una bobina que comprende el conjunto metálico es todavía suficiente.
- Según la invención, el conjunto metálico está dispuesto como una estructura de cable en un canal, en la que el al menos un cable superconductor aislado está dispuesto en una ranura longitudinal en el elemento de conducción térmica. El canal se forma, de este modo, en el elemento de conducción térmica. Aunque el elemento de conducción térmica no cubre completamente el cable superconductor aislado, cuando se enrolla en una bobina con varias capas, cada vuelta sucesiva del cable superconductor aislado estará rodeada por material térmicamente conductor.

Por lo tanto, las propiedades de conducción térmica de la bobina son todavía isotrópicas. Preferentemente, el conjunto metálico en esta realización tiene una sección transversal rectangular o sustancialmente rectangular, para permitir un alto factor de llenado cuando la bobina está enrollada.

5 Según otra realización de la invención, el elemento de conducción térmica está dispuesto como una capa que rodea completamente el al menos un cable superconductor aislado. Tal elemento de conducción térmica proporciona enrollados de bobina que comprenden el conjunto metálico con vías de paso de enfriamiento en todas las direcciones también en el caso en que se desea una sección transversal redonda, o cuando los enrollados de bobina están envueltos de manera menos apretada.

10 Según una realización de la invención, el conjunto metálico comprende además una malla metálica dispuesta más hacia el exterior en el conjunto metálico. Tal malla metálica dispuesta hacia el exterior del elemento de conducción térmica es útil si un enrollado de bobina que comprende el conjunto metálico se va a fijar mediante impregnación con epoxi. La malla metálica, por una parte, permite que el epoxi penetre en el conjunto metálico que bloquea el conjunto metálico de manera efectiva y, por otra parte, proporciona puentes de conducción térmica entre sucesivas vueltas de bobina y capas durante el funcionamiento de un imán que comprende la bobina.

15 La invención también se refiere a una bobina para un electroimán que comprende un conjunto metálico según la invención tal como se describe anteriormente, a un electroimán enfriado por conducción que comprende tal bobina, y a un electroimán enfriado por criógeno que comprende tal bobina. El imán enfriado por conducción puede ser enfriado ya sea por criógeno o libre de criógeno. Las realizaciones preferentes y ventajas de tal bobina y electroimán corresponden a las descritas anteriormente.

## 20 **Breve descripción de los dibujos**

A continuación sigue una descripción detallada de la invención con referencia a los dibujos adjuntos. En los dibujos:

la figura 1 muestra esquemáticamente una sección transversal de un conjunto metálico según una primera realización de la invención,

25 la figura 2 muestra esquemáticamente una sección transversal de un conjunto metálico según una segunda realización de la invención,

la figura 3 muestra esquemáticamente una sección transversal de un conjunto metálico según una tercera realización de la invención,

la figura 4 muestra esquemáticamente una sección transversal de un conjunto metálico según una cuarta realización de la invención.

30 la figura 5 muestra esquemáticamente una sección transversal de un conjunto metálico según una quinta realización de la invención.

la figura 6 muestra esquemáticamente una sección transversal de un conjunto metálico según una sexta realización de la invención, y

35 la figura 7 muestra esquemáticamente una sección transversal de un conjunto metálico según una séptima realización de la invención.

## **Descripción detallada de las realizaciones de la invención**

Las secciones transversales cruzadas de siete realizaciones diferentes de un conjunto metálico según la invención se muestran esquemáticamente en la figura 1-7. Los mismos signos de referencia se han utilizado para designar componentes iguales o similares para todas las realizaciones mostradas.

40 Una primera realización de un conjunto 1 metálico según la invención se muestra en la figura 1. El conjunto 1 metálico según esta realización se denomina estructura de cable en un canal que comprende un cable 2 superconductor aislado que se extiende en una dirección longitudinal, que se inserta en una ranura formada en un elemento 3 de conducción térmica. El cable 2 superconductor aislado comprende un cable 4 superconductor, que consiste en filamentos 5 de un material que exponen propiedades superconductoras dentro de un intervalo de temperatura definido incrustado en una matriz 6 metálica. El cable 2 superconductor aislado comprende además una capa 7 de aislamiento eléctrico dispuesta como un revestimiento en el cable 4 superconductor. El cable 2 superconductor aislado tiene una sección transversal circular en la realización mostrada. Sin embargo, también puede ser de forma rectangular o cuadrada cuando, por ejemplo, se prefiere una geometría de conductor de alta relación de aspecto.

50 Para lograr un contacto directo entre el cable 2 superconductor aislado y el elemento 3 de conducción térmica, el cable superconductor aislado puede ser bloqueado mecánicamente en la ranura por un procedimiento de formación de metal adecuado, tal como dibujar a través de una matriz que tiene una abertura rectangular, o que rueda utilizando, por ejemplo, La llamada cabeza de turco de 4 rodillos. El contacto directo también se puede lograr, por

ejemplo, aplicando epoxi en la superficie del cable superconductor aislado con un procedimiento de impregnación *in situ*. En algunos casos, las resinas epoxi de conducción térmica o sus composites con conductividad eléctrica ya sea relativamente baja o relativamente alta pueden seleccionarse para el propósito en función de la aplicación específica.

5 Una segunda realización del conjunto 1 metálico según la invención se muestra en la figura 2. El conjunto 1 metálico según esta realización difiere de la primera realización en que el elemento 3 de conducción térmica cubre completamente el cable 2 superconductor aislado. El elemento 3 de conducción térmica tiene la forma de una capa con un espesor homogéneo, y el conjunto metálico tiene, por tanto, una sección transversal circular. El cable 2 superconductor aislado está compuesto de los mismos elementos que en la primera realización y tiene una sección transversal circular.

10 Una tercera realización del conjunto 1 metálico según la invención se muestra en la figura 3. Como en la segunda realización, el elemento 3 de conducción térmica cubre completamente el cable 2 superconductor aislado. El conjunto 1 metálico se diferencia del conjunto 1 metálico según la segunda realización en que el cable 2 superconductor aislado y el conjunto 1 metálico tienen secciones esencialmente transversales rectangulares con esquinas redondeadas.

15 Una cuarta realización del conjunto 1 metálico según la invención se muestra en la figura 4. En esta realización, el cable 2 superconductor aislado tiene una sección transversal circular, mientras que el conjunto 1 metálico tiene una sección transversal esencialmente rectangular con esquinas redondeadas. Cuando se enrolla en una bobina, la sección transversal exterior rectangular aumenta el factor de llenado en comparación con una sección transversal circular.

20 El conjunto 1 metálico según la segunda, tercera y cuarta realizaciones se puede producir al revestir el cable 2 superconductor aislado con un material que debe constituir el elemento 3 de conducción térmica, por ejemplo, una tira de metal. Esto se puede hacer usando técnicas de revestimiento bien conocidas, tales como la envoltura o soldadura, o usando una técnica de extrusión a baja temperatura, preferentemente una técnica de extrusión continua tal como el denominado proceso de extrusión Conform. Preferentemente, la extrusión se realiza a una temperatura inferior a 300 °C, después de lo cual sigue un enfriamiento rápido.

25 Una quinta realización del conjunto 1 metálico según la invención se muestra en la figura 5. En esta realización, el cable 2 superconductor aislado está cubierto por un elemento 3 de conducción térmica de composite, que comprende una capa 8 de aluminio y una capa 9 de cobre que cubre completamente la capa de aluminio. El conjunto metálico según esta realización se puede producir al revestir el cable 2 superconductor aislado con aluminio utilizando una técnica de extrusión a baja temperatura a una temperatura inferior a 300 °C, preferentemente una técnica de extrusión continua tal como el proceso de extrusión Conform. Posteriormente, el cable 2 superconductor aislado con la capa 8 de aluminio se reviste, por ejemplo, con cobre de alta pureza que utiliza técnicas de revestimiento bien conocidas utilizadas en la industria del cable.

30 Una sexta realización del conjunto 1 metálico se muestra en la figura 6. En esta realización, varios cables 2 superconductores aislados se insertan en una ranura formada en un elemento 3 de conducción térmica, formando una estructura de cable en un canal. Los cables 2 superconductores aislados pueden transponerse o cablearse en forma de cable antes de insertarlos en la ranura.

35 Un conjunto 1 metálico según una séptima realización de la invención se muestra en la figura 7. En esta realización, varios cables 2 superconductores aislados, que incluyen cada uno un elemento 3' de conducción térmica, están agrupados o cableados entre sí y se insertan en una ranura formada en un elemento 3" de conducción térmica más grande. La cantidad total de material térmicamente conductor dentro de los elementos 3', 3" de conducción térmica debe ser tal que se consiga una conducción térmica isotrópica cuando el conjunto 1 metálico se enrolla en una bobina.

40 Asimismo en las realizaciones mostradas en la figura 2-5, el único cable 2 superconductor aislado puede intercambiarse por un conjunto de cables superconductores aislados, tal como un cable.

45 En todas las realizaciones mostradas, el elemento de conducción térmica puede revestirse adicionalmente con un material que forma una capa delgada, altamente resistente de manera eléctrica (no mostrada) que cubre el conjunto metálico. Esta capa es, habitualmente, de 1 a 50 µm de espesor, preferentemente de 1 a 10 µm de espesor, y podría ser, por ejemplo, una capa metálica, cerámica o de óxido que comprende cromo, níquel, estaño, indio y las aleaciones de los mismos, que tienen ambas presiones de evaporación parciales bajas y alta resistividad eléctrica. El estaño, el indio y las aleaciones de los mismos se pueden revestir usando, por ejemplo, revestimiento de metal fundido o galvanoplastia, mientras que otros metales pueden revestirse usando, por ejemplo, la galvanoplastia, la deposición química de vapor o deposición física de vapor. El revestimiento puede aplicarse al elemento de conducción térmica antes o después del montaje del elemento de conducción térmica y el cable superconductor aislado.

50 La capa con alta resistividad eléctrica también puede formarse a partir de un material polímero orgánico tal como resina de polivinil acetal, PEI, PET, PI o similares. En ese caso, la capa se aplica preferentemente sobre la superficie

del elemento de conducción térmica después del ensamblaje del elemento de conducción térmica y el cable superconductor aislado usando, por ejemplo, el curado con haz de electrones o el curado ultravioleta a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente, preferentemente por debajo de 300 °C. Aunque dichos materiales de polímeros orgánicos también tienen propiedades térmicas aislantes, una capa delgada de 1-50 µm, preferentemente 1-10 µm, todavía permite buenas vías de paso de conducción térmica dentro de los enrollados de una bobina hecha a partir del conjunto metálico.

En todas las realizaciones mostradas, el cable 4 superconductor puede estar compuesto por cualquier material superconductor que pueda producirse en longitudes largas en forma redonda, rectangular o de cinta. El cable 4 superconductor puede ser, por ejemplo, un denominado cable de baja temperatura que comprende uno o varios filamentos 5 de un material tal como NbTi o Nb<sub>3</sub>Sn, o aleaciones de los mismos.

La matriz 6 metálica en la que están incrustados los filamentos 5 puede ser una matriz de cobre de alta pureza o una matriz de aluminio o aleación de aluminio. Para aplicaciones de imán de CA, son adecuados los filamentos 5 NbTi incrustados en una matriz 6 de aleación de cobre aleados con manganeso o níquel. Para aplicaciones de imán de CC, son adecuados los filamentos 5 NbTi incrustados en una matriz de cobre de alta pureza.

Si se utilizan filamentos de Nb<sub>3</sub>Sn, esos filamentos de niobio se incorporan, preferentemente, en una matriz íntima de cobre que contiene estaño (denominado procedimiento de bronce), o en una matriz de cobre con una fuente de aleación de estaño o estaño (denominado procedimiento de estaño interno), rodeado, habitualmente, por una barrera de difusión de niobio y/o tantalio y cobre estabilizador. Antes de la integración con el elemento de conducción térmica, el cable o, alternativamente, un composite de cable se aísla, por ejemplo, con un aislamiento de vidrio de alta temperatura. La reacción a alta temperatura para formar la fase superconductora de Nb<sub>3</sub>Sn puede tener lugar antes o después de una operación de enrollado de bobina. Debido a una alta temperatura de reacción, el elemento de conducción térmica está aislado con un revestimiento adecuado de cromo, cerámica u óxido.

El cable 4 superconductor, normalizado para contener el 50 % del material superconductor, tiene habitualmente un diámetro equivalente de 0,5-1,5 mm para poder llevar una corriente lo suficientemente grande como para crear un campo magnético fuerte en un gran volumen.

La capa 7 de aislamiento eléctrico puede, en todas las realizaciones mostradas, estar hecha de materiales aislantes usados, habitualmente, en el campo para NbTi. Tales materiales incluyen aislantes a base de polímeros seleccionadas, por ejemplo, del grupo de resinas de polivinil acetal (Formvar), polietilimina (PEI), tereftalato de polietileno (PET), fibra de vidrio, poliéster y poliimida (PI). El espesor de la capa 7 de aislamiento eléctrico varía, habitualmente, entre 30-100 µm, proporcionando un aislamiento eléctrico suficiente entre las vueltas y las capas y está dispuesto de modo que cubra completamente la periferia del cable 4 superconductor.

El elemento 3 de conducción térmica en todas las realizaciones mostradas está, preferentemente, hecho de cobre de grado criogénico de alta pureza o aluminio de alta pureza. También puede estar hecho de un canal de composite de aluminio revestido de cobre o una construcción tal como la que se muestra en la figura 5, aleaciones de cobre o aleaciones de aluminio, según los requisitos del producto final. El elemento 3 de conducción térmica está, preferentemente, en forma de una capa que se extiende a lo largo del cable 2 superconductor aislado y en contacto directo con el mismo, ya sea con un espesor homogéneo alrededor de la periferia del cable 2 superconductor aislado, o con un espesor que varía alrededor de la periferia. La capa puede cubrir total o parcialmente el cable 2 superconductor aislado. En el caso de que la capa solo cubra parcialmente el cable 2 superconductor aislado, debe cubrir preferentemente la parte principal de la superficie del cable, de manera que cuando el conjunto 1 metálico se enrolla en una bobina, el cable 2 superconductor aislado está rodeado por el material del elemento 3 de conducción térmica.

El elemento 3 de conducción térmica debería tener, habitualmente, un espesor de capa promedio de 0,10 mm o más, preferentemente al menos de 0,50 mm, en función de la dimensión del cable 4 superconductor. El elemento 3 de conducción térmica tiene, preferentemente, un espesor de capa promedio de al menos 0,2 veces el diámetro equivalente del cable 2 superconductor aislado, preferentemente al menos 0,5 veces. El elemento 3 de conducción térmica y la matriz 6 metálica dentro del cable 2 superconductor aislado deben tener conjuntamente un volumen de al menos dos veces el volumen de los filamentos 5 superconductores, más preferentemente al menos cinco veces.

El conjunto 1 metálico según cualquiera de las realizaciones mostradas es, para uso en un imán enfriado por criógeno, por ejemplo, en un imán enfriado por helio líquido, o alternativamente en un imán enfriado por conducción libre de criógeno, enrollado en una bobina en forma de solenoide que comprende al menos una capa del conjunto 1 metálico, preferentemente varias capas. En el imán enfriado por conducción, el elemento 3 de conducción térmica, además de proporcionar conducción térmica, también proporciona estabilización eléctrica. Esto es particularmente importante si, en funcionamiento, el cable 4 superconductor experimenta una transición a una etapa normal por alguna razón, por ejemplo debido a perturbaciones magnéticas, salto de flujo, movimiento mecánico del cable, etc. En este caso, la corriente se conduce automáticamente a través del elemento 3 de conducción térmica y el cable 4 superconductor se dejan enfriar para que se pueda reanudar la etapa superconductora.

5 En una bobina utilizada en un enrollado de electroimán que comprende el conjunto 1 metálico, el conjunto metálico puede fijarse para evitar el movimiento relativo del conjunto metálico dentro de la bobina. El conjunto metálico puede, por ejemplo, fijarse mediante impregnación epoxi. En ese caso, se prefiere proporcionar al conjunto metálico una malla metálica revestida sobre el elemento de conducción térmica o a un revestimiento provisto en el exterior del elemento de conducción térmica. La malla metálica se puede colocar, por ejemplo, sobre la superficie del conjunto metálico y puede tener la forma de cables de cobre o aluminio delgados de alta pureza trenzados alrededor del conjunto metálico.

10 El cable superconductor aislado también puede basarse en aleaciones de  $MgB_2$ , o cualquier otro material superconductor adecuado para ser fabricado en largas longitudes y crear campos magnéticos fuertes, utilizando diseños de cables de construcción de estados de la técnica.

Desde luego, la invención no está restringida de ninguna manera a las realizaciones descritas anteriormente, pero muchas posibilidades de modificación de las mismas serían evidentes para una persona con experiencia en la técnica sin apartarse del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto (1) metálico que comprende al menos un cable (2) superconductor aislado que se extiende en una dirección longitudinal, en el que el al menos un cable (2) superconductor aislado comprende:
  - un cable (4) superconductor, que comprende un material (5) que exponen propiedades superconductoras dentro de un intervalo de temperatura definido incrustado en una matriz (6) metálica, y
  - una capa (7) de aislamiento eléctrico dispuesta como un revestimiento en el cable (4) superconductor,
  - y dicho conjunto metálico que comprende además un elemento (3) de conducción térmica que comprende un material térmicamente conductor dispuesto como una capa que rodea al menos parcialmente el al menos un cable (2) superconductor aislado,
- 5 **caracterizado porque** la capa (7) de aislamiento eléctrico comprende un aislante a base de polímero que tiene una resistividad de al menos  $10^7 \Omega\text{m}$ , y el material térmicamente conductor está elegido entre cobre, aleación de cobre, aluminio, aleación de aluminio o un composite que comprende cobre y aluminio, de tal manera que el conjunto (1) metálico, cuando se enrolla en una bobina, exponen propiedades de conducción térmica isotrópica o esencialmente isotrópica.
- 10
- 15 2. El conjunto metálico según la reivindicación 1, en el que el elemento (3) de conducción térmica tiene un espesor de capa promedio de al menos 0,2 veces el diámetro equivalente de el al menos un cable (2) superconductor aislado, preferentemente al menos 0,5 veces.
3. El conjunto metálico según la reivindicación 1 o 2, en el que el elemento (3) de conducción térmica y la matriz (6) metálica dentro de el al menos un cable (2) superconductor aislado tienen conjuntamente un volumen de al menos dos veces el volumen del material (5) que expone propiedades superconductoras dentro de un intervalo de temperatura definido, preferentemente, al menos cinco veces.
- 20
4. El conjunto metálico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el material térmicamente conductor está elegido entre cobre de alta pureza, aluminio de alta pureza o composite de aluminio revestido de cobre.
- 25 5. El conjunto metálico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la capa (7) de aislamiento eléctrico comprende un aislante que tiene una resistividad de al menos  $10^{10} \Omega\text{m}$ .
6. El conjunto metálico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el aislante a base de polímero está seleccionado del grupo de resinas de polivinil acetal (Formvar), polietilenimina (PEI), tereftalato de polietileno (PET), fibra de vidrio, poliéster y poliimida (PI).
- 30 7. El conjunto metálico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto metálico comprende además una capa con alta resistividad eléctrica dispuesta como un revestimiento sobre el elemento (3) de conducción térmica.
8. El conjunto metálico según la reivindicación 7, en el que dicha capa con alta resistividad eléctrica es una capa metálica que comprende cromo, níquel, estaño o aleaciones de los mismos.
- 35 9. El conjunto metálico según la reivindicación 7, en el que dicha capa con alta resistividad eléctrica es una capa de cerámica u óxido que comprende, por ejemplo, óxido de aluminio, óxido de cromo, óxido de titanio, óxido de circonio o alúmina-titanio.
10. El conjunto metálico según la reivindicación 7, en el que dicha capa con alta resistividad eléctrica es una película de polímero orgánico eléctricamente aislante.
- 40 11. El conjunto metálico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto (1) metálico está dispuesto como una estructura de cable en un canal, en el que el al menos un cable (2) superconductor aislado está dispuesto en una ranura longitudinal en el elemento (3) de conducción térmica.
12. El conjunto metálico según una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que el elemento (3) de conducción térmica está dispuesto como una capa que rodea completamente al menos un cable (2) superconductor aislado.
- 45 13. El conjunto metálico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto metálico comprende además una malla metálica dispuesta en la parte más exterior en el conjunto metálico.
14. Una bobina para un electroimán que comprende un conjunto (1) metálico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
15. Un electroimán enfriado por conducción que comprende una bobina según la reivindicación 14.
- 50 16. Un electroimán enfriado por criógeno que comprende una bobina según la reivindicación 14.

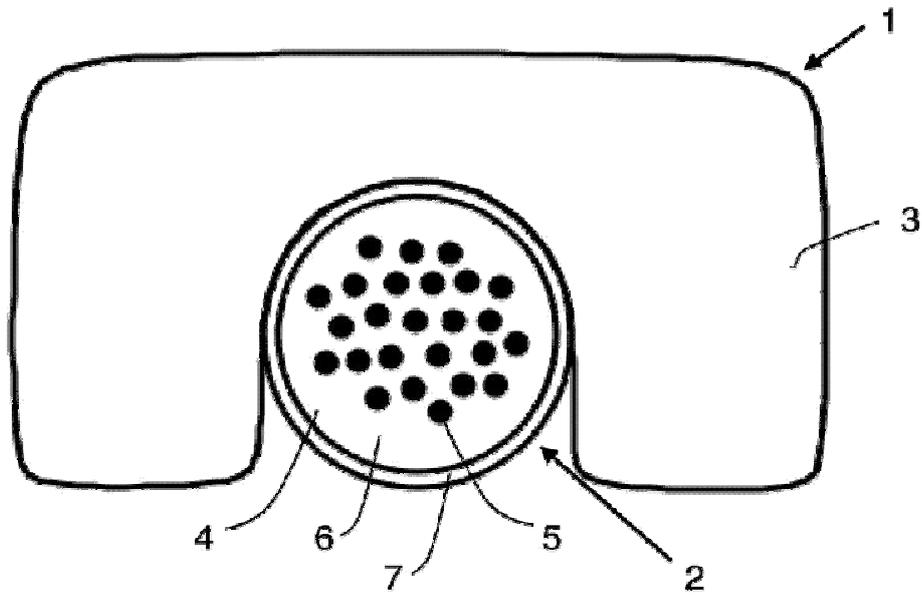


Fig. 1

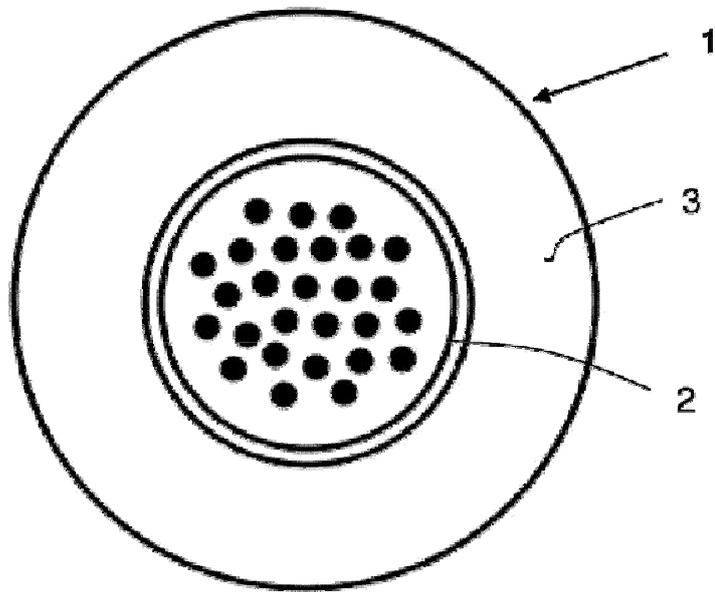
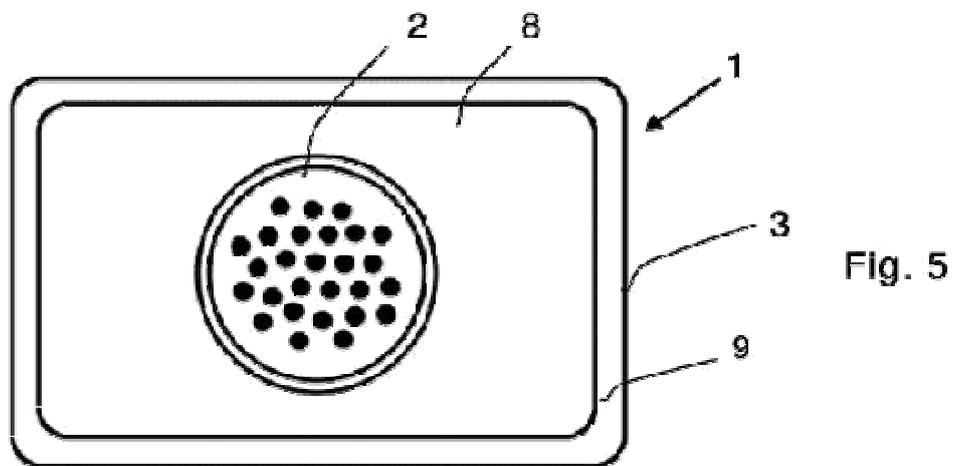
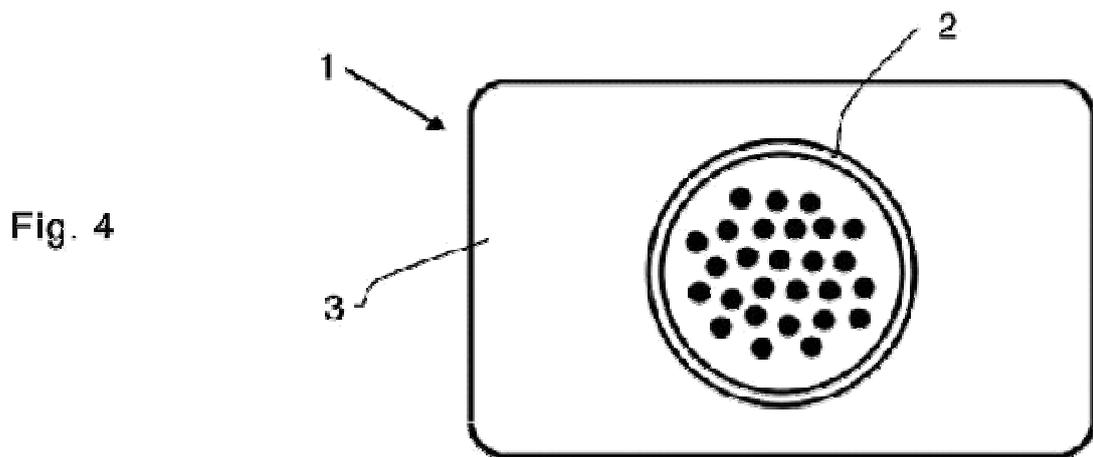
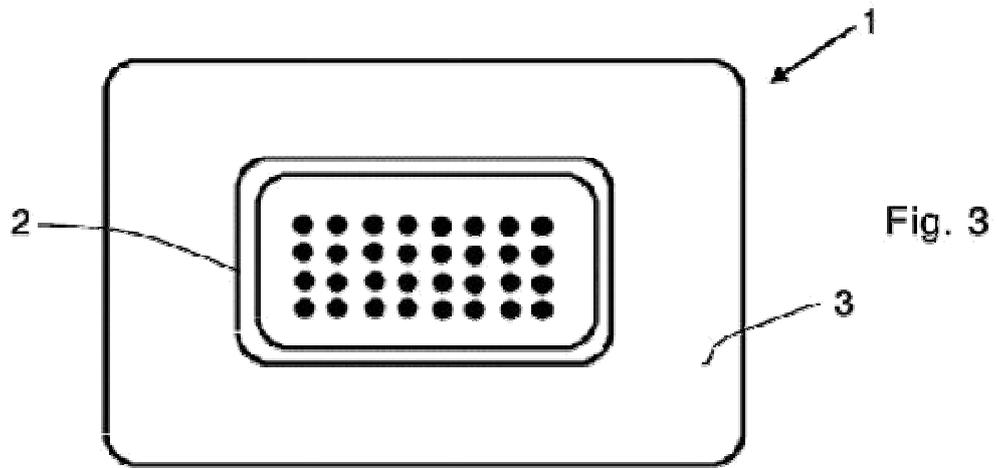


Fig. 2



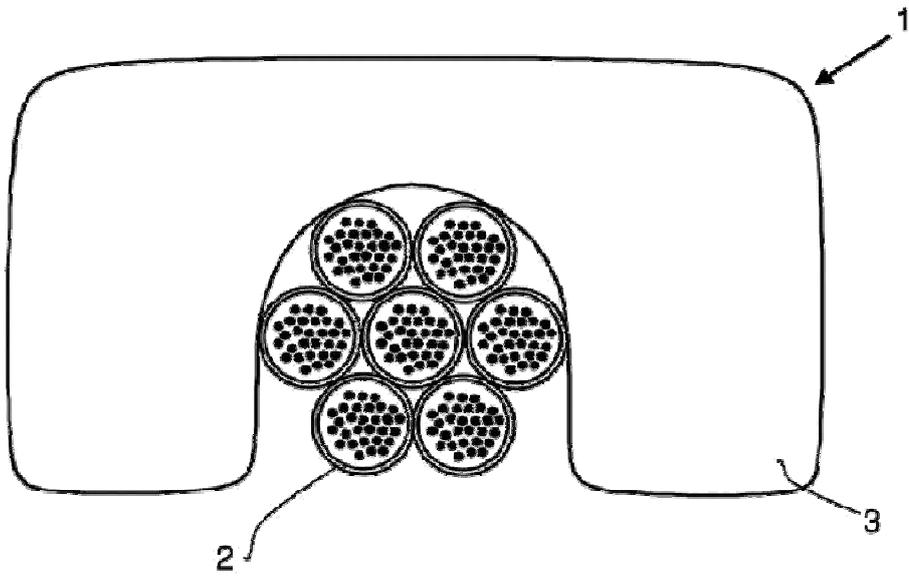


Fig. 6

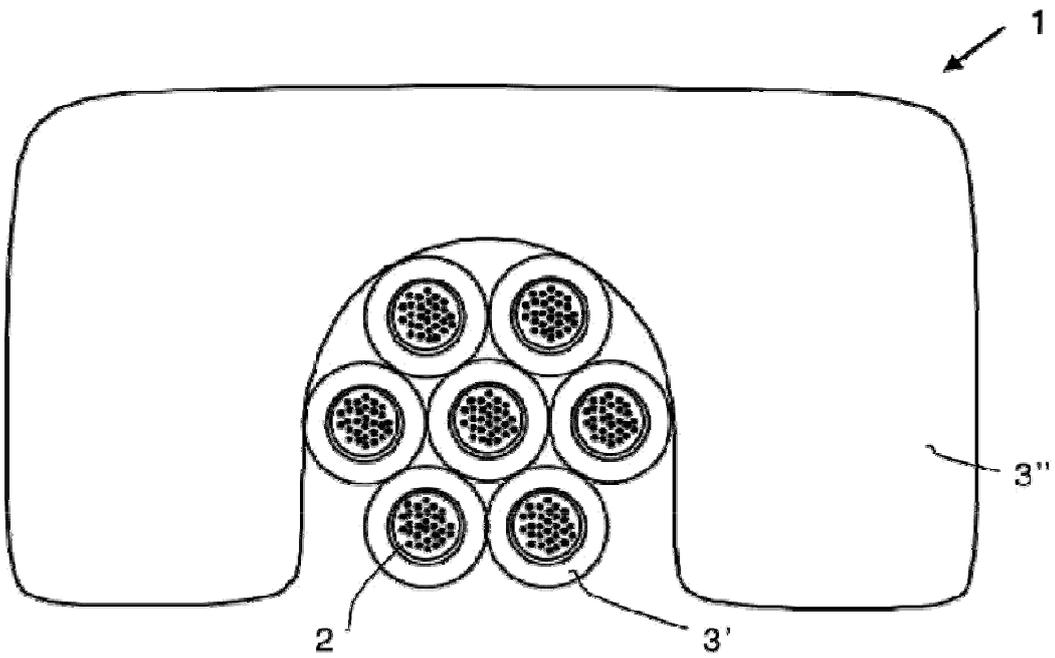


Fig. 7