

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 129**

51 Int. Cl.:  
**H01L 39/02** (2006.01)  
**H01R 4/68** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09731999 .0**  
96 Fecha de presentación: **16.04.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2279544**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.02.2011**

54 Título: **Junta superconductora granular**

30 Prioridad:  
**17.04.2008 US 71192**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.10.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.10.2012**

73 Titular/es:  
**ASG Superconductors S.p.A.**  
**Corso F. M. Perrone, 73R**  
**16152 Genova, IT**

72 Inventor/es:  
**NARDELLI, Davide**

74 Agente/Representante:  
**Linage González, Rafael**

ES 2 388 129 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

Junta superconductor granular.

**Antecedentes de la invención**

5 La superconductividad es un fenómeno que ocurre en ciertos materiales a temperaturas extremadamente bajas, y se caracteriza por una resistencia eléctrica exactamente cero y la exclusión del campo magnético interior (conocido como efecto Meissner). Una corriente eléctrica que fluye por un bucle uniformemente continuo de un alambre, segmento o cable superconductor, puede persistir indefinidamente sin ninguna fuente de energía. Sin embargo, la uniformidad de la corriente eléctrica está limitada por la longitud del alambre, segmento o cable superconductor. Con el fin de incrementar la longitud de un alambre, segmento o cable superconductor, los segmentos de alambre superconductor se conectan unos con otros a través de juntas.

10 La Patente U.S. núm. 7226894 de Raber y otros, divulga limpiar dos porciones terminales de cables superconductores mediante una funda metálica no superconductor para dejar al descubierto las superficies superconductoras. A continuación, las superficies superconductoras son presionadas entre sí para formar una conexión de puente. También se divulga una soldadura por puntos para formar la conexión. Las superficies al descubierto pueden ser también calentadas para obtener una reacción de continuidad entre las mismas.

El Documento de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual núm. WO 2007/128635 A1 divulga disponer alambres superconductores en un manguito o casquillo, añadir diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ) y reducir el manguito.

La Patente U.S. núm. 4713878 de Kumpitsch y otros, divulga colocar alambres superconductores en un metal de moldeo superconductor solidificado.

20 La Patente U.S. núm. 5134040 de Benz y otros, divulga conectar alambres con metales constitutivos de un superconductor de niobiuro de estaño ( $Nb_3Sn$ ), y a continuación calentar los alambres conectados con el fin de obtener una reacción entre los metales y crear así un puente superconductor.

La Patente U.S. núm. 5255837 de Xu y otros, divulga un método de formación de una junta en espira de baja resistencia para unir bobinas magnéticas en un conjunto superconductor magnético sobre un tambor magnético formando un sándwich de soldadura plano en el interior de una ranura sobre el tambor y mover una fuente de calor a lo largo de la junta en espira con temperatura, presión y velocidad rotacional del tambor controladas.

30 La Patente U.S. núm. 5604473 de Rodenbush y la Patente U.S. núm. 5581220 de Rodenbush y otros, divulgan segmentos de puente cortos de material superconductor que se utilizan para conectar eléctricamente bobinas individuales de doble hojuela juntas en un circuito serie, donde los segmentos de puenteo se realizan con el mismo material utilizado para arrollar las propias bobinas.

Estos métodos conocidos adolecen de un número de inconvenientes que los hacen inapropiados para la creación de juntas entre segmentos superconductores que consiguen la superconductividad utilizando un material superconductor granular, tal como diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ), el cual no puede ser fácilmente prensado o reducido. En una disposición, la Patente U.S. núm. 7337527 de Grasso y otros, divulga un método de fabricación de alambres superconductores que tienen una pluralidad de filamentos que comprenden una sustancia superconductor granular de diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ). La aplicación de una alta presión a tales filamentos puede ocasionar rotura. Por otra parte, la aplicación de una presión más baja a tales filamentos podría producir conexiones insuficientes entre filamentos superconductores para el transporte de una cantidad útil de corriente. Ejemplos adicionales pueden ser encontrados en los documentos US 2008/0020137 y GB 2448051.

40 Además, el uso de lo que conoce como "superconductores de baja temperatura" (por ejemplo, niobiuro de estaño ( $Nb_3Sn$ ), niobiuro de titanio ( $NbTi$ ) y niobiuro de aluminio ( $Nb_3Al$ ), etc.), y las técnicas relativas para unirlos, producen una "junta superconductor de baja temperatura". Esta estructura de junta de baja temperatura, sin embargo, elimina la ventaja de la alta temperatura crítica del diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ).

45 Mientras tanto, el uso de lo que se conoce como "superconductores de alta temperatura" (por ejemplo, óxido de bismuto estroncio calcio cobre (BSCCO), óxido de ytrio bario cobre (YBCO), etc.) y la técnica relativa para unirlos, producen una "junta superconductor de alta temperatura". Debido a las inestabilidades de fijación del flujo, un problema típico de este tipo de estructura de alta temperatura consiste en que solamente se crea una junta de muy baja resistencia y no es posible obtener una junta superconductor real.

50 Por lo tanto, existe una necesidad general de unir eficazmente segmentos superconductores que comprendan sustancias superconductoras granulares.

**Sumario**

De forma resumida, de acuerdo con un aspecto de la presente invención, una junta superconductor una estructuralmente un primer segmento superconductor con un segundo segmento superconductor. Cada uno de estos primer o segundo segmentos superconductores comprende áreas correspondientes que contienen una

5 sustancia superconductor granular formada por un primer elemento y un segundo elemento. La junta superconductor de acuerdo con una realización de la invención comprende una unión sólida no superconductor formada a partir de una sustancia precursora que comprende una fuente del primer elemento y una fuente del segundo elemento combinadas para producir la sustancia superconductor granular alrededor de la unión sólida no superconductor para permitir el flujo de corriente superconductor a través del primer segmento superconductor y del segundo segmento superconductor.

10 De acuerdo con algunas de las características más detalladas de la invención, la unión sólida no superconductor comprende al menos una estructura metálica o una estructura de aleación. Además, al menos uno de entre el primer segmento superconductor y el segundo segmento superconductor podría ser una pluralidad de filamentos longitudinales que contienen la sustancia superconductor granular.

15 De acuerdo con otras características más detalladas de la invención, el primer elemento comprende magnesio y el segundo elemento comprende boro. La sustancia superconductor granular comprende diboruro de magnesio. Alternativamente, al menos una de las fuentes del primer o segundo elemento comprende una fuente binaria o una fuente ternaria. Ejemplos de fuentes de la primera fuente o del segundo elemento pueden incluir aluminio, carbono, cobalto, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, niobio, níquel, paladio, rutenio, escandio, silicio, titanio, vanadio, ytrio, zirconio, cerio, platino, cadmio, galio, gadolinio, germanio, hidrógeno, lantano, plomo, estaño, estroncio, talio, zinc, iridio o cobre.

20 De acuerdo con otras características adicionales detalladas de la presente invención, cada una de entre el primer y el segundo segmentos superconductores comprende un área conductora y la junta comprende además una unión no superconductor que acopla estructuralmente el área conductora del al menos un segmento superconductor con el área conductora del al menos un segmento superconductor. Las áreas conductoras forman filamentos que contienen la sustancia superconductor granular.

25 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, un alambre superconductor comprende un primer segmento superconductor y un segundo segmento superconductor. Una junta superconductor une estructuralmente el primer segmento superconductor con el segundo segmento superconductor. Cada uno de entre el primer y el segundo segmentos superconductores comprenden áreas correspondientes que contienen una sustancia superconductor granular formada por un primer elemento y un segundo elemento, comprendiendo la junta superconductor una unión sólida no superconductor formada a partir de una fuente del primer elemento y una fuente del segundo elemento combinadas para producir la sustancia superconductor granular alrededor de la unión sólida no superconductor para permitir el flujo de corriente superconductor a través del primer segmento superconductor y del segundo segmento superconductor.

De acuerdo con algunas de las características más detalladas de este aspecto de la invención, al menos uno de entre el primer segmento superconductor y el segundo segmento superconductor comprende una pluralidad de filamentos longitudinales que contienen la sustancia superconductor granular.

35 De acuerdo con otro aspecto más de la invención, un método para unir estructuralmente un primer segmento superconductor a un segundo segmento superconductor deja al descubierto áreas del primer segmento superconductor y del segundo segmento superconductor, que contienen una sustancia superconductor granular formada por un primer elemento y un segundo elemento. El primer segmento superconductor se posiciona en relación con el segundo segmento superconductor y se dispone una sustancia granular sobre las áreas al descubierto del primer segmento superconductor y del segundo segmento superconductor. Una unión sólida no superconductor se forma entre el primer segmento superconductor y el segundo segmento superconductor a partir de una fuente del primer elemento y de una fuente del segundo elemento para producir la sustancia superconductor granular alrededor de la unión sólida no superconductor que permita el flujo de corriente superconductor a través del primer segmento superconductor y del segundo segmento superconductor.

45 De acuerdo con algunas de las características más detalladas de este aspecto de la invención, la unión sólida no superconductor comprende al menos uno de entre una estructura metálica o una estructura de aleación. Además, al menos uno de entre el primer segmento superconductor y el segundo segmento superconductor puede comprender una pluralidad de filamentos longitudinales que contienen la sustancia superconductor granular. Adicionalmente, al menos una de las fuentes del primer o segundo elemento comprende al menos una de entre una fuente binaria o una fuente ternaria.

De acuerdo con otras características más detalladas de este aspecto de la invención, la etapa de unir estructuralmente comprende calentar la fuente del primer elemento y la fuente del segundo elemento en las áreas al descubierto. Además, se puede aplicar presión suficiente que permita la reacción durante el calentamiento del primer elemento y de la fuente del segundo elemento en las áreas al descubierto.

55 De acuerdo con otras características adicionales más detalladas de este aspecto de la invención, la etapa de dejar al descubierto las áreas comprende uno de entre grabado mecánico, grabado químico, molienda mecánica, fusión o corte de metal. Además, la etapa de posicionamiento puede requerir orientar las áreas al descubierto para que se extiendan adyacentes cada una con la otra, u orientar las áreas al descubierto para que se enfrenten cada una con la otra.

**Breve descripción de los dibujos**

La presente invención podrá ser comprendida más fácilmente a partir de la descripción detallada que sigue cuando se lee junto con los dibujos que se acompañan, en los que:

La figura 1 es una vista en sección transversal de un segmento superconductor convencional;

- 5 La figura 2 es una vista en sección transversal despiezada que representa dos segmentos superconductores y una sustancia precursora granular, en la que los segmentos se hacen reaccionar para formar una junta de acuerdo con la presente invención;

La figura 3 es una vista isométrica de la figura 1 que representa un depósito de la sustancia precursora granular que se aplica a las áreas al descubierto del segmento superconductor;

- 10 La figura 4 es una vista isométrica despiezada que representa un depósito de la sustancia precursora granular que se está disponiendo entre áreas al descubierto opuestas del primer y el segundo segmentos superconductores;

Las figuras 5a y 5b representan una junta superconductora lado con lado;

Las figuras 6a y 6b representan una junta superconductora lado con lado de acuerdo con otra realización de la invención;

- 15 Las figuras 7a y 7b representan una junta superconductora solapante de acuerdo con otra realización más de la invención;

La figura 8 es un gráfico que muestra resultados de prueba de tensión a través de una junta según la invención frente a corriente;

La figura 9 muestra un gráfico de resultados de prueba de magnetización residual frente a tiempo;

- 20 La figura 10 muestra la vista lateral de un alambre superconductor realizado con un número de segmentos superconductores conectados eléctricamente entre sí por medio de juntas superconductoras formadas de acuerdo con cualquiera de las realizaciones discutidas en lo que antecede;

La figura 11 es una vista en sección transversal del alambre superconductor de la figura 10 a lo largo del eje B-B;

- 25 Las figuras 12a – 12d muestran diferentes realizaciones de bobinas superconductoras que tienen arrollamientos que están acoplados entre sí a través de una o más uniones lado con lado;

La figura 13a muestra dos arrollamientos conectados entre sí por medio de uniones solapantes correspondientes;

La figura 13b muestra la unión solapante que comprende el acoplamiento cara a cara de áreas al descubierto opuestas que contienen la sustancia superconductora granular sin ninguna estructura no superconductora sólida ni voluminosa;

- 30 La figura 13c muestra la unión solapante que también incluye la sustancia superconductora granular que está siendo dispersada alrededor de la estructura sólida no superconductora;

Las figuras 14a – 14e son vistas en perspectiva de diferentes realizaciones de bobinas superconductoras acopladas entre sí a través de uniones solapantes mostradas en la figura 13A, y

- 35 Las figuras 15 – 16 muestran, a título de ejemplo, un imán de un aparato de formación de imágenes por resonancia magnética abierta.

**Descripción detallada**

La figura 1 es una vista en sección transversal de un segmento (10) superconductor convencional. El segmento 10 superconductor puede ser usado como parte de un alambre o bobina de acuerdo con diversos aspectos de la presente invención. El segmento 10 superconductor es una funda 11 metálica no superconductora que circunda a una pluralidad de filamentos 14 internos que contienen una sustancia 16 superconductora granular. Esta realización se encuentra descrita además en la Patente U.S. núm. 7337527 de Grasso y otros El segmento 10 superconductor puede ser usado también como hojuela superconductora simple, hojuela doble y bobinas de solenoide, así como en alambres o cables. En una realización, la sustancia 16 superconductora granular está hecha de al menos un primer elemento y un segundo elemento. Un ejemplo de sustancia superconductora de ese tipo incluye diboruro de magnesio. El filamento 14 puede contener cualquier otra sustancia superconductora granular adecuada. La granularidad de la sustancia 16 superconductora contenida en los filamentos 14 puede ser la de cualquier forma de material a modo polvo o de grano.

- 40

- 45

La figura 2 es una vista en sección transversal despiezada que representa dos segmentos superconductores y una sustancia 20 precursora granular cuyos segmentos se hacen reaccionar para formar una junta de acuerdo con la

presente invención. La junta superconductor se ha formado dejando al descubierto en primer lugar áreas de un primer segmento 10a superconductor y de un segundo segmento 10b superconductor. Las dos áreas 12a, 12b al descubierto contienen una sustancia superconductor granular, que en el ejemplo de la figura 1 comprende diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ). La etapa de dejar al descubierto el filamento 14, por ejemplo, elimina una porción de funda metálica 11 no superconductor por ataque químico, ataque mecánico, molienda mecánica, fusión de metal o corte de metal, o dejando de otro modo al descubierto los filamentos 14 sin romperlos. La exposición de los filamentos 14 deja al descubierto la sustancia 16 superconductor granular contenida en el interior del área 15 rebajada del filamento 14.

A continuación, la sustancia 20 precursora granular se dispone entre al menos las áreas 12a, 12b al descubierto. Con preferencia, la sustancia 20 precursora granular está hecha de un material que puede hacerse reaccionar con la sustancia 16 superconductor granular contenida en el interior de los filamentos 14 para producir una o más uniones sólidas no superconductoras que permitan un flujo de electrones entre los segmentos 10a y 10b superconductor. En una realización, la sustancia 16 superconductor granular comprende un primer elemento y un segundo elemento, comprendiendo cada uno de ellos un producto químico que, cuando se hacen reaccionar conjuntamente, forman un material superconductor. La sustancia 20 precursora granular comprende una fuente del primer elemento 22 y una fuente del segundo elemento 24.

La figura 3 es una vista isométrica de la figura 1 que representa un depósito de la sustancia 20 precursora granular que se está aplicando a las áreas 12 al descubierto del segmento 10 superconductor. La figura 3 representa también las áreas 12 al descubierto formadas en los filamentos 14 que contienen la sustancia 16 superconductor, la cual puede reaccionar con la fuente 22 del primer elemento y con la fuente 24 del segundo elemento, contenidas en la sustancia 20 precursora granular.

En una realización la sustancia 16 superconductor granular comprende diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ) que tiene magnesio en su primer elemento y boro en su segundo elemento. Un ejemplo de la fuente 22 de magnesio del primer elemento podría ser aluminio magnesio ( $Al_2Mg_2$ ), y un ejemplo de la fuente 24 de boro del segundo elemento podría ser diboruro de aluminio ( $AlB_2$ ). Las dos fuentes 22, 24 pueden ser combinadas para formar la sustancia 20 precursora granular, la cual, cuando se hace reaccionar con la sustancia 16 superconductor granular al descubierto, diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ), forma uno o más materiales no superconductor, aluminio, que crean una estructura sólida que permite que fluya corriente no superconductor. La sustancia 16 superconductor granular, diboruro de magnesio, creada alrededor de la estructura sólida como resultado de la reacción acoplada con el mismo material en el interior de las áreas 12a y 12b al descubierto, permite que fluya la corriente mientras que la unión no superconductor, aluminio, podría unir estructuralmente el primer y el segundo segmentos 10a, 10b superconductor para crear una junta superconductor.

En una realización, las fuentes 22, 24 son compuestos binarios. Para el diboruro de magnesio, ejemplos de compuestos binarios que contienen boro incluyen:  $AlB_2$ ,  $B_2C$ ,  $CoB$ ,  $CrB_2$ ,  $FeB$ ,  $Fe_2B$ ,  $MnB_4$ ,  $MnB$ ,  $Mn_2B$ ,  $MoB_4$ ,  $BNb$ ,  $Ni_4B_3$ ,  $Pd_5B_2$ ,  $RuB$ ,  $ScB_2$ ,  $ScB_{13}$ ,  $SiB_6$ ,  $SiB_3$ ,  $TiB_2$ ,  $Ti_3B_4$ ,  $VB_3$ ,  $YB_2$  y  $B_2Zr$ . Ejemplos de compuestos binarios que contienen magnesio incluyen:  $Al_2Mg_2$ ,  $Al_{12}Mg_{17}$ ,  $Mg_2Ca$ ,  $Mg_3Bi_2$ ,  $CdMg_3$ ,  $Cd_3Mg$ ,  $CdMg$ ,  $Cu_2Mg$ ,  $CuMg_2$ ,  $Mg_5Ga_2$ ,  $Mg_6Gd$ ,  $Mg_2Ge$ ,  $MgH_2$ ,  $Mg_{17}La_2$ ,  $Mg_2Ni$ ,  $MgNi_2$ ,  $MgPb$ ,  $Mg_2Si$ ,  $Mg_2Sn$ ,  $Mg_{17}Sr_2$ ,  $Mg_5Ti$ ,  $Mg_2Y$  y  $MgZn$ .

En otra realización, las fuentes 22 y 24 son compuestos ternarios. Para el diboruro de magnesio, ejemplos de compuestos ternarios que contienen boro incluyen:  $CePt_2B$ ,  $CePt_2In_2$ ,  $MgB_{12}Si_2$ ,  $MgB_2Ni_{2.5}$ ,  $Sc_3B_{0.75}C_3$  y  $Sc_2B_{1.1}C_{3.2}$ . Ejemplos de compuestos ternarios que contienen magnesio incluyen  $Mg_3Cr_2Al_{18}$ ,  $Mg_3Co_2Ga_7$ ,  $Mg_{15}Ir_5Si_2$ ,  $Ca_4Al_3Mg$  y  $Mg_6Si_7Cu_{16}$ .

Se puede usar cualquier otro tipo de compuesto adecuado para primeros elementos químicos conocidos que formen una sustancia superconductor con segundos elementos químicos. En efecto, la primera y la segunda fuentes pueden ser una fuente pura del primer y el segundo elementos en vez de un compuesto.

Adicionalmente, de acuerdo con otra realización, se pueden usar fuentes puras, compuestos binarios y compuestos ternarios para las fuentes 22, 24 en combinación. Por ejemplo, la primera fuente puede ser un compuesto binario y la segunda fuente puede ser un compuesto ternario, o viceversa. Además, la fuente 22, 24 podría en sí misma ser una combinación de dos de entre una fuente pura, un compuesto binario y un compuesto ternario.

Todavía en otra realización, otros elementos o compuestos no superconductor que sean útiles para modificar las propiedades de reacción de la sustancia 20 precursora granular (por ejemplo, incrementar o ralentizar la reacción cinética), pueden ser añadidos a la sustancia 20.

La figura 4 es una vista isométrica despiezada que representa un depósito de la sustancia 20 precursora granular que está siendo dispuesta entre áreas 12a y 12b al descubierto opuestas del primer y el segundo segmentos 10a y 10b superconductor. En la figura 4, el área 12b al descubierto, posicionada en un extremo inferior del segundo elemento 10b superconductor, está colocada de modo que se enfrenta al área 12a al descubierto, posicionada en un extremo superior opuesto del primer segmento 10a superconductor, según una configuración solapante. De esta forma, la sustancia 20 precursora granular puede ser aplicada a al menos una de las áreas 12a o 12bb al descubierto, y acoplada a la sustancia 16 superconductor granular correspondiente en el interior de filamentos 14a y 14b (ocultos) de los segmentos 10a y 10b superconductor.

El posicionamiento de cada uno de los segmentos superconductores en relación con el otro para unirlos de acuerdo con la presente invención, puede ser en cualquier orientación adecuada, incluyendo a lo largo de un eje vertical, horizontal o circular. Por ejemplo, las áreas al descubierto de los segmentos 10a y 10b superconductores pueden extenderse adyacentes entre sí, según se muestra en las figuras 5a, 5b, 6a y 6b. En una realización adicional, las áreas al descubierto de los segmentos superconductores se extienden enfrentándose una a la otra según se ha representado en las figuras 7a y 7b.

Las figuras 5a y 5b representan una junta 30 superconductora lado con lado. La figura 5a muestra dos segmentos 10a, 10b superconductores, cada uno de ellos con un área 12a, 12b al descubierto situada en la misma superficie de extremo superior del segmento superconductor. También se muestra la sustancia 20 precursora granular aplicada a las áreas 12a y 12b al descubierto. De acuerdo con esta disposición, un lado del primer segmento 10a superconductor está posicionado a continuación de un lado opuesto del segundo segmento 10b superconductor, para situar las áreas 12a y 12b descubiertas en posiciones adyacentes entre sí a lo largo de un eje A-A longitudinal. La figura 5b representa una junta 30 superconductora lado con lado, que ha sido creada al hacer reaccionar la sustancia 20 precursora granular con la sustancia 16 superconductora granular. La junta 30 superconductora comprende la sustancia 16 superconductora granular dispersada alrededor de una unión sólida no superconductora, según se describe mejor en lo que sigue. La junta 30 superconductora lado con lado es particularmente beneficiosa para el acoplamiento de segmentos o cintas frágiles de diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ), para evitar la interrupción de la continuidad superconductora a través de la unión.

Las figuras 6a y 6b representan una junta 30 superconductora lado con lado de acuerdo con otra realización de la invención. La figura 6a muestra un primer segmento 10a superconductor con un área 12a al descubierto localizada en una superficie de extremo superior del primer segmento superconductor, y un segundo segmento 10b superconductor con un área 12b al descubierto localizada en una superficie de extremo superior opuesta del segundo segmento superconductor. Un lado a lo largo del área 12a al descubierto del primer segmento 10a superconductor se posiciona a continuación de un lado opuesto a lo largo del área 12b al descubierto del segundo segmento 10b superconductor. De forma similar a la disposición de las figuras 5a y 5b, las áreas 12a y 12b al descubierto se extienden adyacentes entre sí a lo largo del eje A-A- longitudinal, siendo las únicas diferencias la disposición de extensión del primer y segundo segmentos 10a y 10b superconductores. En las figuras 5(a) y 5(b), el primer y el segundo segmentos 10a y 10b superconductores discurren adyacentes entre sí. En las figuras 6a y 6b, estos primer y segundo segmentos 10a y 10b superconductores se extienden en direcciones opuestas cada uno con respecto al otro.

Las figuras 7a y 7b representan una junta 40 superconductora solapante de acuerdo con otra realización más de la invención. La figura 7a muestra el primer y el segundo segmentos 10a y 10b superconductores con áreas 12a (no representadas) al descubierto, y 12b situada en la superficie de extremo superior del primer segmento 10a superconductor y en una superficie opuesta de extremo inferior del segundo segmento 10b superconductor, respectivamente. El área 12b al descubierto de extremo inferior del segundo segmento 10b superconductor se posiciona de modo que se enfrenta al área 12a (no representada) al descubierto superior del primer segmento 10a superconductor para el solapamiento del primer y el segundo segmentos superconductores en dirección vertical. En la figura 7b, las áreas 12a, 12b al descubierto están unidas por medio de la junta 40.

Según se ha descrito en lo que antecede, la creación de una junta superconductora, de acuerdo con la presente invención, incluye acoplar áreas superconductoras al descubierto del primer segmento 10a superconductor al segundo segmento 10b superconductor a través de la sustancia 16 superconductora granular, así como de un material no superconductor que es sólido y que permite el flujo de corriente eléctrica. Tal acoplamiento requiere una reacción entre la sustancia 16 superconductora granular y la sustancia 20 precursora granular. En una realización, la reacción solidifica los elementos de la primera y segunda fuentes 22, 24 de sustancia 20 precursora granular para puentear estructuralmente el espacio de separación entre el primer y el segundo segmentos 10a y 10b superconductores de tal modo que la sustancia 16 superconductora granular se dispersa alrededor de los puentes sólidos no superconductores creando una conexión eléctrica híbrida entre el primer y el segundo segmentos 10a y 10b superconductores a través del material superconductor y no superconductor. En una realización, la reacción solidifica los elementos metálicos de la sustancia 20 precursora granular dependiendo de tales elementos. La junta puede ser metálica o de aleación.

En una realización, se aplica un tratamiento térmico a las áreas al descubierto del primer y el segundo segmentos superconductores con temperaturas comprendidas en la gama de 650 °K a 1250 °K durante un período de tiempo comprendido en rangos de decenas de segundos a varias horas. El tratamiento térmico produce una masa sólida o voluminosa que tiene una integridad mecánica autónoma que da refuerzo a un alambre superconductor frágil, como por ejemplo un alambre de diboruro de magnesio. Se puede usar equipamiento industrial conocido (por ejemplo, un horno) a efectos de calentamiento con modificaciones adecuadas para conseguir una unión superconductora deseada. De acuerdo con la realización, dependiendo de la aplicación, se puede aplicar una cantidad adecuada de presión durante el tratamiento térmico para ayudar a producir la masa sólida o voluminosa.

Las pruebas experimentales ilustran que la junta superconductora de la presente invención tiene capacidad para conducir elevadas cantidades de corriente, por ejemplo una fracción grande (aproximadamente las dos terceras partes o más) de la corriente crítica de un segmento superconductor en sí mismo. Los inventores de la presente

solicitud de patente han llevado a cabo una prueba de persistencia de corriente sobre un arrollamiento de pequeña longitud de aproximadamente 1/10 a 2/10 de centímetro que contenía diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ) encintado alrededor de un objeto cilíndrico para crear un bucle simple curvado uniformemente. Las terminaciones extremas del bucle fueron conectadas estructural y eléctricamente a través de una junta superconductora creada de acuerdo con la presente invención. Se verificó la presencia de una continuidad superconductora real direccionando la corriente eléctrica al bucle superconductor y observando la circulación de corriente por el interior del bucle de forma sustancialmente indefinida. La figura 8 es un gráfico que muestra la tensión a través de una unión frente a un aumento gradual de corriente de acuerdo con la prueba de persistencia de corriente.

Es además posible insertar un sensor de campo magnético en el interior del bucle, midiendo de ese modo el decaimiento del campo magnético. Si la corriente no decae, tampoco lo hará el campo magnético. Midiendo el tiempo de decadencia, es posible medir la resistencia del circuito global y de ese modo la resistencia de la junta superconductora. La figura 9 muestra un gráfico de magnetización residual frente al tiempo que representa que después de aproximadamente cinco días de la adquisición, el campo magnético era sustancialmente constante y no decayó dentro de los límites de las mediciones de error/ruido. Los parámetros del gráfico utilizaron 1) el límite superior al valor de resistencia (R) de un circuito típico de primer orden (es decir, un circuito LR típico), 2) la expansión de error/ruido de  $0,5 \times 10^{-4}$  Tesla y el tiempo de 5 días (o aproximadamente 420.000 segundos), y 3) la inductancia de  $2 \times 10^{-7}$  Henrys. En base a estos parámetros, un valor de R menor de  $10^{-14}$  ohmios confirma que la junta de la presente invención es superconductora.

La junta superconductora de la presente invención puede ser creada, implementada o empleada en cualquier tipo de cable superconductor, conexiones, extensiones o dispositivos, por ejemplo imanes, MRIs, transformadores, dispositivos de almacenamiento de energía, transmisión de potencia eléctrica, motores eléctricos, o dispositivos de levitación magnética. Una ventaja de utilizar juntas superconductoras para construir diversas partes de un sistema modular (por ejemplo, una bobina para un imán MRI) consiste en que las juntas superconductoras permiten la prueba de las partes del sistema por separado respecto a los defectos con anterioridad al montaje del sistema completo.

La figura 10 muestra la vista lateral de un alambre 100 superconductor construido con un número de segmentos 10a, 10b y 10c superconductores, conectados eléctricamente unos con otros a través de juntas 50 superconductoras formadas de acuerdo con cualquiera de las realizaciones discutidas en lo que antecede.

La figura 11 es una vista en sección transversal del alambre superconductor de la figura 10 a lo largo del eje B-B de la figura 10. Según se muestra, los segmentos 10a y 10b superconductores están unidos entre sí a través de la sustancia 16 superconductora granular dispersada alrededor de las uniones 42 sólidas no superconductoras. En la disposición mostrada, se ha dispersado sustancia 16 superconductora de diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ) alrededor de la unión 42 sólida no superconductora. Sin embargo, la sustancia superconductora granular que acopla las áreas superconductoras al descubierto de los segmentos 10a y 10b superconductores puede ser diferente de la sustancia 16 superconductora que está dentro de los filamentos 14. Cualquier reacción adecuada entre la primera fuente 22 de elemento y la segunda fuente 24 de elemento de un segundo elemento, puede solidificar una o más uniones 42 no superconductoras y crear sustancias 16 superconductoras granulares en la junta 50 entre los segmentos 10a y 10b superconductores, los cuales pueden contener cualquier tipo de sustancia superconductora granular.

En una realización, la sustancia 16 superconductora granular que acopla las áreas superconductoras al descubierto de los segmentos 10a y 10b superconductores conecta la sustancia 16 superconductora granular en filamentos 14 adyacentes para crear una bobina superconductora según un modo persistente. El modo persistente ocurre cuando el arrollamiento está en sí mismo cortocircuitado de modo que no exista ninguna conexión con una fuente de alimentación externa. De ese modo, circula una corriente a través de los bobinados sin resistencia.

Las figuras 12a – 12d muestran diferentes realizaciones de bobinas superconductoras que tienen arrollamientos que están acoplados entre sí a través de una o más uniones 20 lado con lado, según se ha representado en las figuras 5a, 5b, 6a y 6b. La figura 12a es una bobina de solenoide fabricada mediante varias capas de superconductores. En una realización, un arrollamiento o un tramo de superconductor está arrollado completamente alrededor de un arrollamiento o un tramo anterior, y conectado con éste mediante el uso de una unión 120 superconductora. La figura 12b representa dos bobinas de doble hojuela con una unión 120 superconductora para conectar las dos bobinas. Los dos extremos eléctricos están cortocircuitados por medio de un interruptor superconductor. La figura 12c representa un interruptor superconductor que incluye uniones 120 superconductoras de doble hojuela, simple hojuela o bobinas de solenoide. La figura 12d muestra dos arrollamientos 124 y 125 acoplados entre sí por medio de la unión 120 lado con lado.

La figura 13a muestra dos arrollamientos 131 y 132 conectados entre sí mediante uniones 130 solapantes correspondientes. Las figuras 13a y 13b muestran vistas en sección transversal de dos realizaciones de la unión 130 solapante en el eje C-C de la figura 13. La figura 13(b) muestra la unión solapante que comprende el acoplamiento cara con cara de áreas al descubierto opuestas que contienen la sustancia 16 superconductora granular sin ninguna estructura no superconductora sólida ni voluminosa.

La figura 13c muestra la unión 130 solapante que también incluye la sustancia 16 superconductora granular que está siendo dispersada alrededor de la estructura 42 sólida no superconductora.

Las figuras 14a – 14e son vistas en perspectiva de diferentes realizaciones de bobinas superconductoras acopladas entre sí a través de las uniones 130 solapantes mostradas en la figura 13a. Cada bobina 300 está formada por una pluralidad de arrollamientos 301 superconductores conectados en serie, que están dispuestos unos a continuación de otros en forma estratificada. Las figuras 13a y 13b muestran un único arrollamiento 310 superconductor parcial, mientras que las figuras 14b-14e muestran el conjunto de bobinas 30 formadas por una pluralidad de arrollamientos 301 superconductores parciales.

Las figuras 14a – 14c muestran bobinas del tipo que se conoce como bobinas 300 de doble hojuela. Según puede apreciarse en las figuras 13a y 13b, en cada arrollamiento 301 parcial de doble hojuela las espiras están dispuestas de modo que forman sustancialmente dos capas 301a y 301b que están conectadas entre sí por medio de una unión 301c solapante. La unión 301c solapante comprende una junta superconductora, del tipo de las que se muestran en las figuras 13a o 13b. Por motivos de claridad de la ilustración, estas capas han sido mostradas por separado en las figuras; en realidad, éstas se extienden en contacto de una con otra.

En una realización, cada arrollamiento 301 es monolítico, en particular no tiene ninguna junta, y posee dos extremos opuestos 301d y 301e de conexión externos, asociados respectivamente a capas 301a y 301b, de modo que permiten la conexión con otros arrollamientos 301, según se ha ilustrado en las figuras 14b – 14e.

En cada arrollamiento 301, el superconductor posee dos extremos opuestos 301d y 301e de conexión externos, asociados respectivamente a las capas 301a y 301b de modo que permiten la conexión a través de una junta B superconductora a otros arrollamientos 301, según se ha ilustrado en las figuras 14b – 14e. La junta B superconductora puede ser formada de acuerdo con cualquiera de las realizaciones mostradas en las figuras 13a y 13b.

De acuerdo con una realización, la junta superconductora, el alambre y la bobina pueden ser usados en relación con un imán MRI. Tal imán puede ser usado de forma similar para la construcción de máquinas eléctricas en general tal como, por ejemplo, transformadores, motores, generadores, limitadores de corriente, sistemas de acumulación de energía, imanes multi-polares, etc.

En una realización, un imán que trabaje en un régimen persistente está compuesto por varios arrollamientos. Con el fin de que opere un imán superconductor en modo persistente, todas las juntas eléctricas deben ser superconductoras. Así, los diversos arrollamientos se conectan en serie unos con otros mediante juntas superconductoras para crear una bobina. Los extremos de la bobina son cortocircuitados a continuación mediante un interruptor superconductor. Las figuras 12a – 12d representan varias configuraciones de bobinas que pueden ser usadas en esta realización.

Las figuras 15, 16a, 16b y 17 muestran a título de ejemplo, un imán indicado en su conjunto mediante 100, de un aparato de formación de imágenes por resonancia magnética del tipo de techo abierto. El imán 100 comprende un yugo 150 en forma de U que está hecho de material ferromagnético. El yugo 150 conecta un par de caras 110 de polo, que están situadas a una distancia de separación entre ellas a lo largo de un eje polar x. El imán 100 está dispuesto verticalmente de modo que el eje polar está dispuesto horizontalmente y por encima de la parte 150a central del yugo 150. Las caras 110 de polo definen entre ellas una zona R de recepción para un paciente.

Según se muestra en las figuras 16a y 16b, el imán 100 comprende también dos bobinas 200 que están dispuestas, cada una de ellas, concéntricamente alrededor de cada una de las caras 110 de polo, respectivamente. Estas bobinas pueden estar convenientemente controladas por una unidad de control (no representada) con el fin de generar un flujo magnético en el interior de la zona R de recepción.

Cada bobina 200 comprende una cámara 210 de vacío formada a modo de una envolvente con una forma sustancialmente anular y de sección transversal a modo de caja rectangular. Las cámaras 210 de vacío están aseguradas al yugo 150 magnético por medio de soportes no magnéticos (no representados).

Las cámaras 210 de vacío están conectadas entre sí por medio de un conductor 220 de conexión que a su vez está conectado a un sistema de vacío (no representado) de tipo convencional.

Cada cámara de vacío alberga internamente un conjunto respectivo de arrollamientos 300 con una forma generalmente anular que se extiende tanto axialmente como circunferencialmente en el interior de la cámara 210 de vacío. Cada conjunto de arrollamientos está encerrado en el interior de una estructura 400 de soporte respectiva que está a su vez asegurado a una pared de la cámara 210 de vacío. Se puede prever también una pantalla 500 térmica dispuesta alrededor de cada conjunto de arrollamientos 300, estando dicha pantalla formada como envolvente de forma sustancialmente anular con una sección transversal a modo de caja rectangular y estando también asegurada a la pared de la cámara 210 de vacío por medio de soportes con una baja conductividad térmica (no representados). Las dos pantallas 500 térmicas dispuestas respectivamente alrededor de los dos conjuntos de arrollamientos 300 están conectadas entre sí de una manera térmicamente conductora por medio de una sección 510 de conexión tubular que se extiende por el interior del conducto 220 de conexión de las cámaras 210 de vacío.

Las figuras 16a y 16b muestran también un sistema 600 de enfriamiento criogénico. Este sistema comprende al menos un enfriador criogénico 610 con dos fases 620 y 630 de refrigeración, de las que la primera fase 620 de



refrigeración está conectada de una manera térmicamente conductora a la sección 51 de conexión tubular de las pantallas 500 térmicas. De esta forma, el enfriador criogénico 610 está capacitado para enfriar las pantallas 500 térmicas hasta una temperatura comprendida en la gama de 40 a 150 °K con el fin de minimizar la dispersión de calor al exterior. El enfriador criogénico 610 está asegurado a la pared del conducto 220 de conexión de las cámaras 5  
210 de vacío. La posición del enfriador criogénico 610 se optimiza con el fin de que funcione de la manera más eficiente posible y reduzca al mínimo los problemas asociados de espacio, la vibración y la rumorosidad. Como alternativa al enfriador criogénico simple, se puede usar un enfriador criogénico respectivo por cada bobina 200.

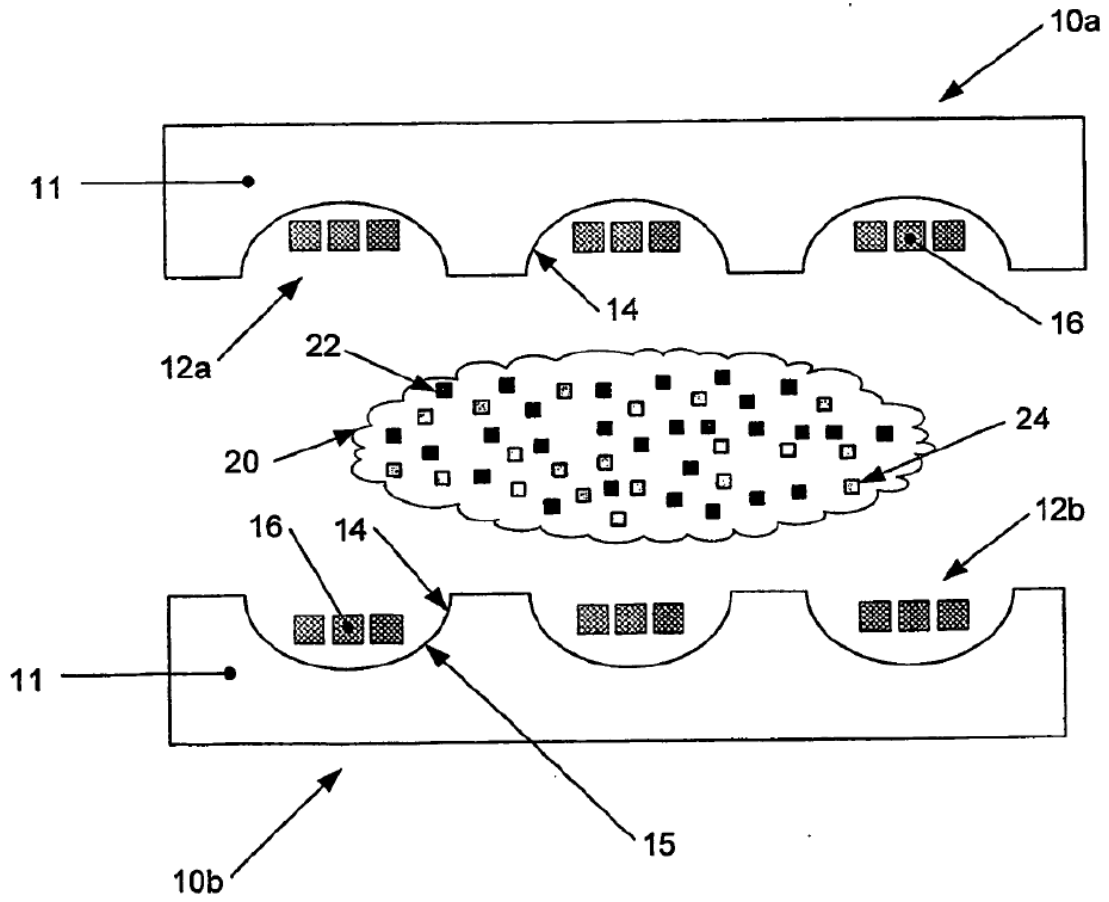
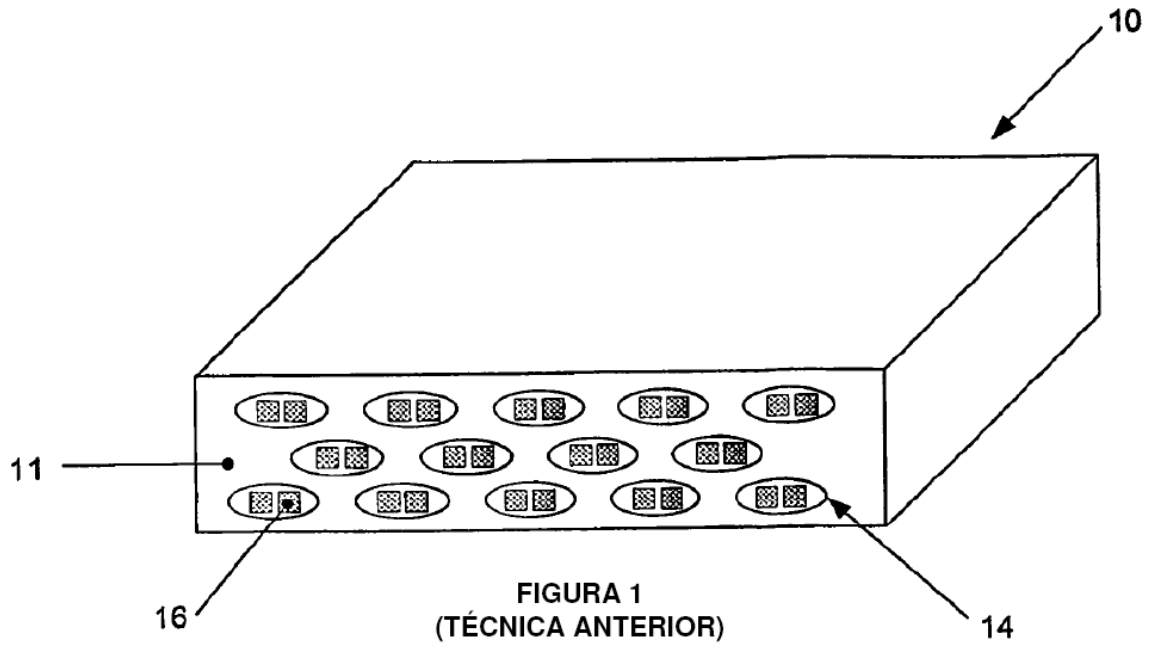
La alimentación eléctrica de potencia a los conjuntos de arrollamientos 300 superconductores se proporciona utilizando conexiones interfaciales que pueden ser optimizadas para un bajo consumo criogénico y que están  
10 conectadas por una parte a los terminales 311, 312 de cada conjunto de arrollamientos, y por otra parte, a un alimentador de potencia externo a través de la cámara de vacío.

La junta, unión, alambre y bobina superconductores que utilizan una sustancia superconductora granular, según se ha descrito en lo que antecede, permiten el mantenimiento de un circuito superconductor continuo a temperaturas tan altas como 20-30 grados Kelvin. Además, la junta y la unión superconductoras son operativas para todos los  
15 tipos de segmentos, alambres y bobinas superconductores. Esto tiene particular relevancia para bobinas superconductoras en imanes MRI.

**REIVINDICACIONES**

1. Una junta (30) superconductora entre un primer segmento (10a) superconductor y un segundo segmento (10b) superconductor, en la que cada uno de dichos primer y segundo segmentos superconductores comprende áreas correspondientes que contienen una sustancia superconductora granular formada a partir de un primer elemento y de un segundo elemento, caracterizada porque dicha junta superconductora comprende una unión no superconductora sólida para unir estructuralmente el primer y el segundo segmentos (10a, 10b) superconductores, y una sustancia (16) superconductora granular dispersada alrededor de la unión no superconductora sólida para permitir el flujo de corriente de superconducción a través del primer segmento (10a) superconductor y del segundo segmento (10b) superconductor, estando la unión no superconductora y la sustancia (16) superconductora dispersada formadas a partir de una sustancia (20) precursora que comprende una fuente de dicho primer elemento que se ha hecho reaccionar con una fuente de dicho segundo elemento.
2. La junta superconductora de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la unión no superconductora sólida comprende al menos una de entre una estructura metálica o una estructura de aleación.
3. La junta superconductora de acuerdo con la reivindicación 1, en la que al menos uno de entre el primer segmento superconductor y el segundo segmento superconductor comprende una pluralidad de filamentos longitudinales que contienen la sustancia superconductora granular.
4. La junta superconductora de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicho primer elemento comprende magnesio, dicho segundo elemento comprende boro, y dicha sustancia superconductora granular comprende diboruro de magnesio.
5. La junta superconductora de acuerdo con la reivindicación 1, en la que al menos una de dichas fuentes de dichos primer o segundo elementos comprende al menos una de entre una fuente binaria o una fuente ternaria.
6. La junta superconductora de acuerdo con la reivindicación 3, en la que al menos una de dichas fuentes de dicha primera fuente o dicho segundo elemento comprende al menos uno de entre aluminio, carbono, cobalto, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, niobio, níquel, paladio, rutenio, escandio, silicio, titanio, vanadio, ytrio, zirconio, cerio, platino, cadmio, galio, gadolinio, germanio, hidrógeno, lantano, plomo, estaño, estroncio, talio, zinc, iridio o cobre.
7. La junta superconductora de acuerdo con la reivindicación 1, en la que cada primer y segundo segmentos superconductores comprenden un área conductora, y en la que dicha junta comprende además una unión no superconductora sólida que acopla estructuralmente el área conductora del al menos un segmento superconductor con el área conductora del al menos un segmento superconductor.
8. La junta superconductora de la reivindicación 7, en la que dichas áreas conductoras forman filamentos que contienen la sustancia superconductora granular.
9. Un alambre superconductor, que comprende: un primer segmento superconductor, un segundo segmento superconductor, y una junta superconductora de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
10. El alambre superconductor de acuerdo con la reivindicación 9, en el que al menos uno de entre el primer segmento superconductor y el segundo segmento superconductor comprende una pluralidad de filamentos longitudinales que contienen la sustancia superconductora granular.
11. Un método para unir estructuralmente un primer segmento (10a) superconductor con un segundo segmento (10b) superconductor, que comprende las etapas de:
  - dejar al descubierto áreas del primer segmento (10a) superconductor y del segundo segmento (10b) superconductor que contienen una sustancia superconductora granular formada a partir de un primer elemento y de un segundo elemento;
  - posicionar el primer segmento (10a) superconductor en relación con el segundo segmento (10b) superconductor;
  - depositar una sustancia (20) precursora granular entre las áreas al descubierto del primer segmento (10a) superconductor y del segundo segmento (10b) superconductor, comprendiendo la sustancia (20) precursora granular una fuente del primer elemento y una fuente del segundo elemento;
  - someter la sustancia (20) precursora a una reacción con el fin de formar una unión no superconductora sólida para unir estructuralmente el primer y el segundo segmentos (10a, 10b) superconductores, y una sustancia (16) superconductora granular dispersada alrededor de la unión no superconductora sólida para permitir el flujo de corriente de superconducción a través del primer segmento (10a) superconductor y del segundo segmento (10b) superconductor.
12. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la unión no superconductora sólida comprende al menos uno de entre una estructura metálica y una estructura de aleación.

13. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que al menos uno de entre el primer segmento superconductor y el segundo segmento superconductor comprende una pluralidad de filamentos longitudinales que contienen la sustancia superconductora granular.
- 5 14. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que al menos una de dichas fuentes de dichos primer o segundo elementos comprende al menos una de entre una fuente binaria y una fuente ternaria.
15. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la etapa de unir estructuralmente comprende calentar dicha fuente de dicho primer elemento y dicha fuente de dicho segundo elemento en las áreas al descubierto.
- 10 16. El método de acuerdo con la reivindicación 15, en el que la etapa de unir estructuralmente comprende además aplicar presión suficiente para permitir la reacción durante el calentamiento de dicho primer elemento y de dicha fuente de dicho segundo elemento en las áreas al descubierto.
17. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la etapa de dejar al descubierto dichas áreas comprende uno de entre grabado mecánico, grabado químico, molienda mecánica, fusión o corte de metal.
18. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicho posicionamiento requiere orientar las áreas al descubierto para que se extiendan adyacentes entre sí.
- 15 19. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que dicho posicionamiento requiere orientar las áreas al descubierto para que se enfrenten entre sí.



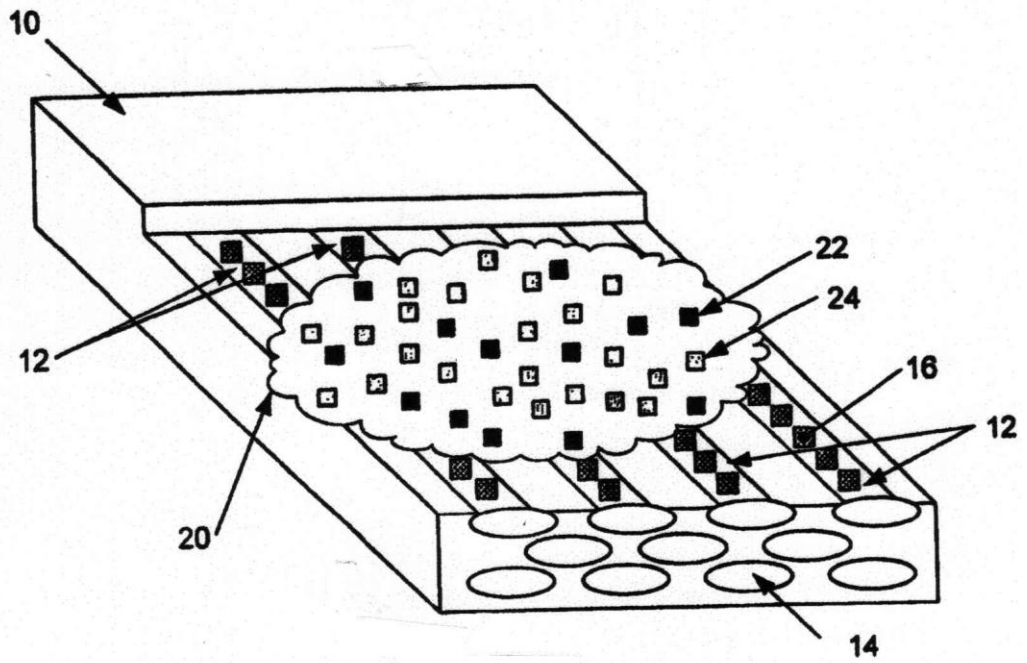


FIGURA 3

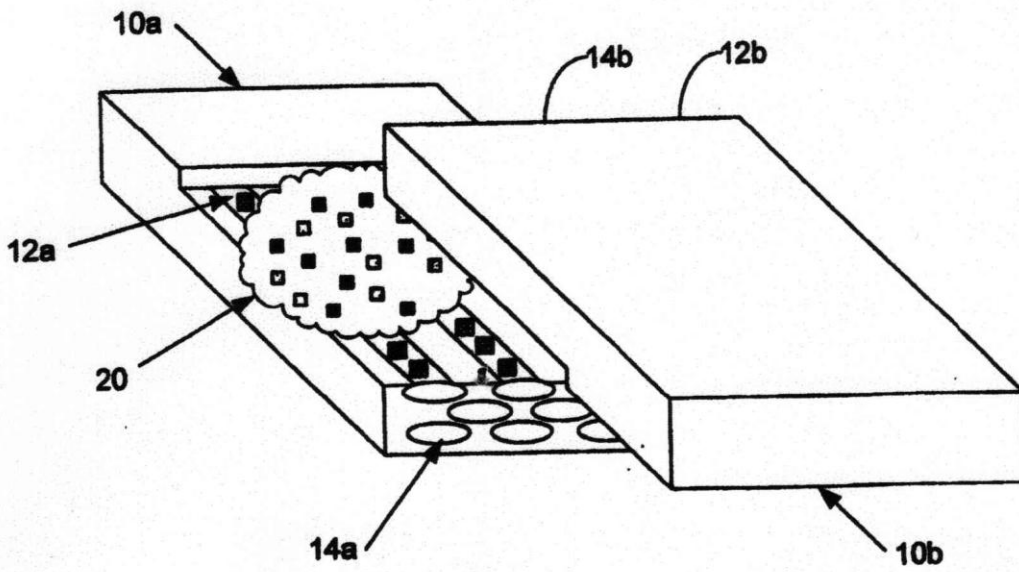


FIGURA 4

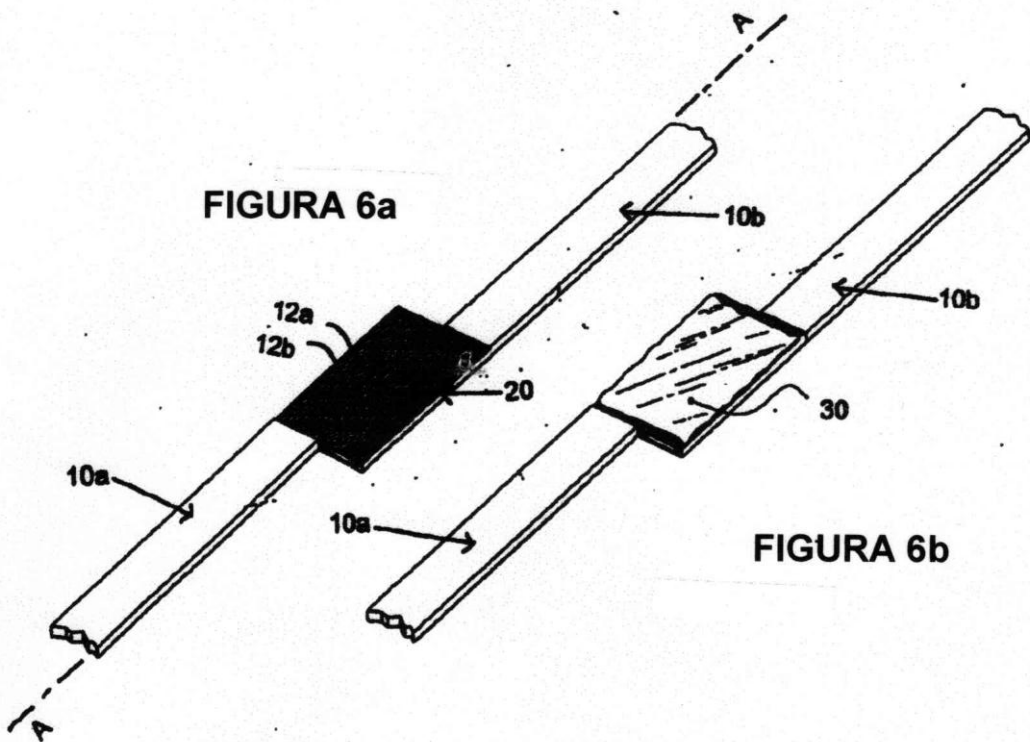
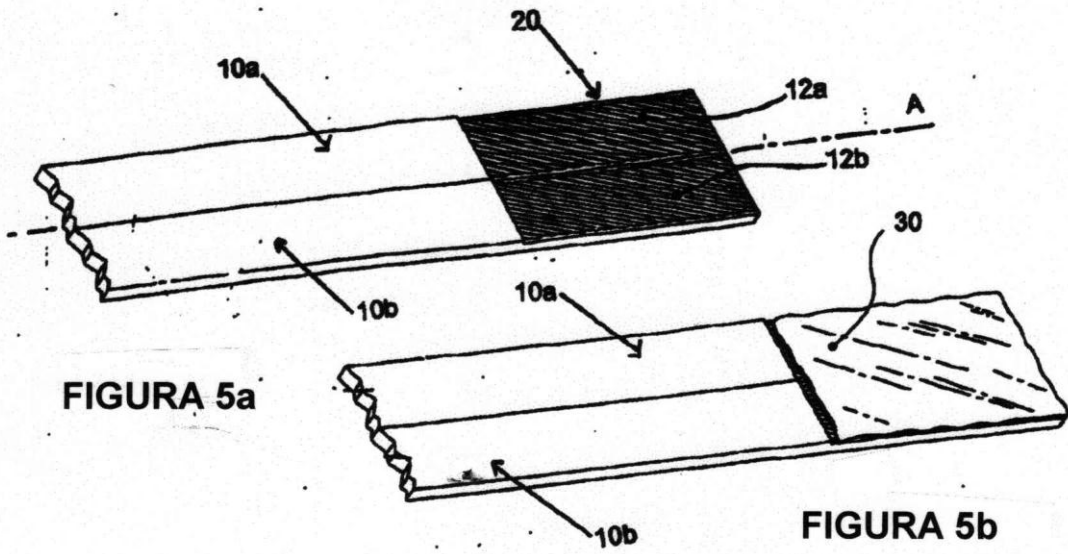


FIGURA 7a

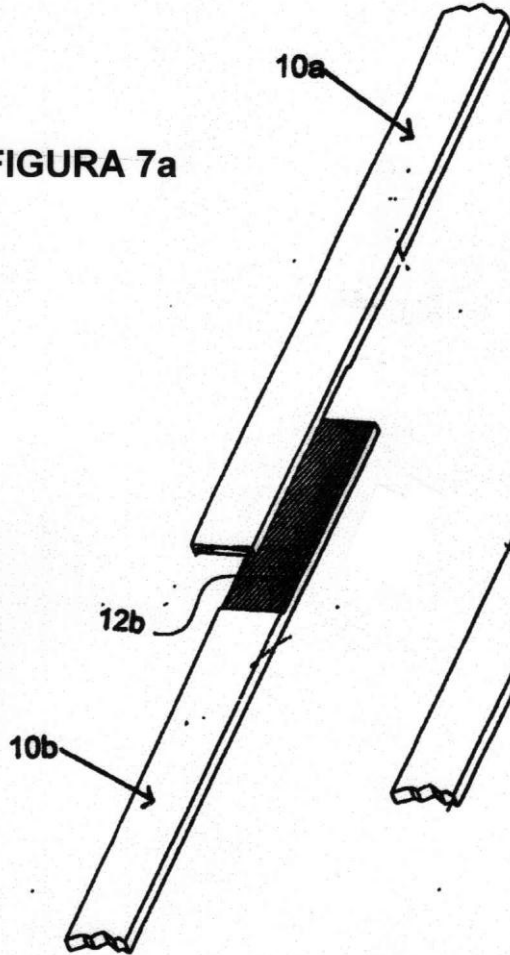
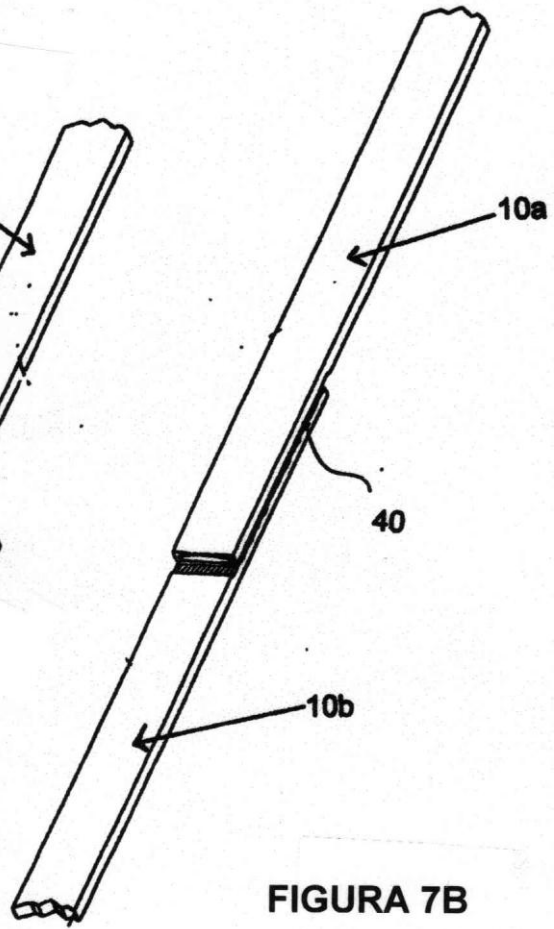
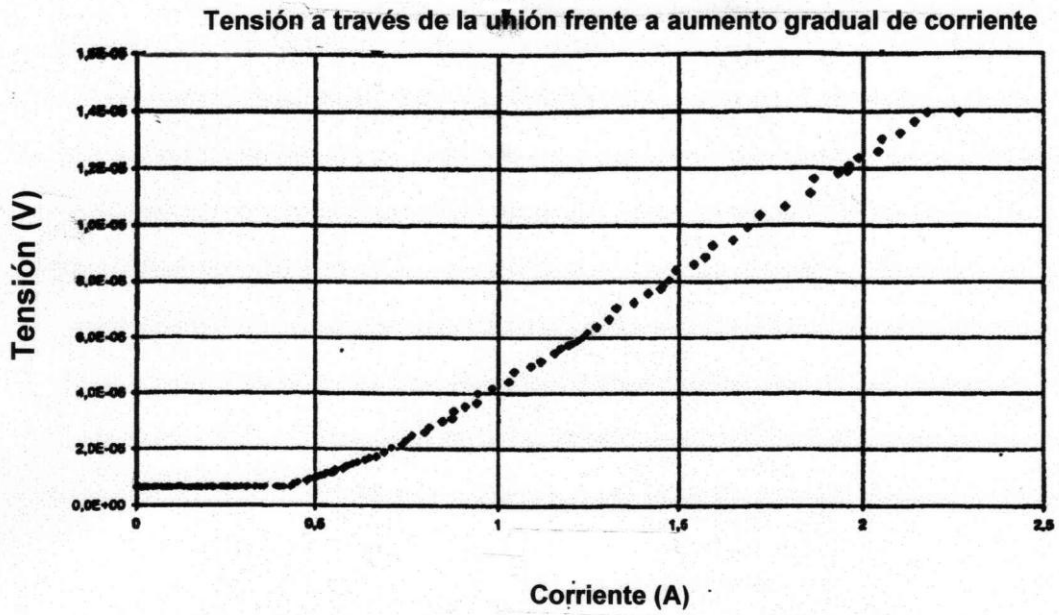
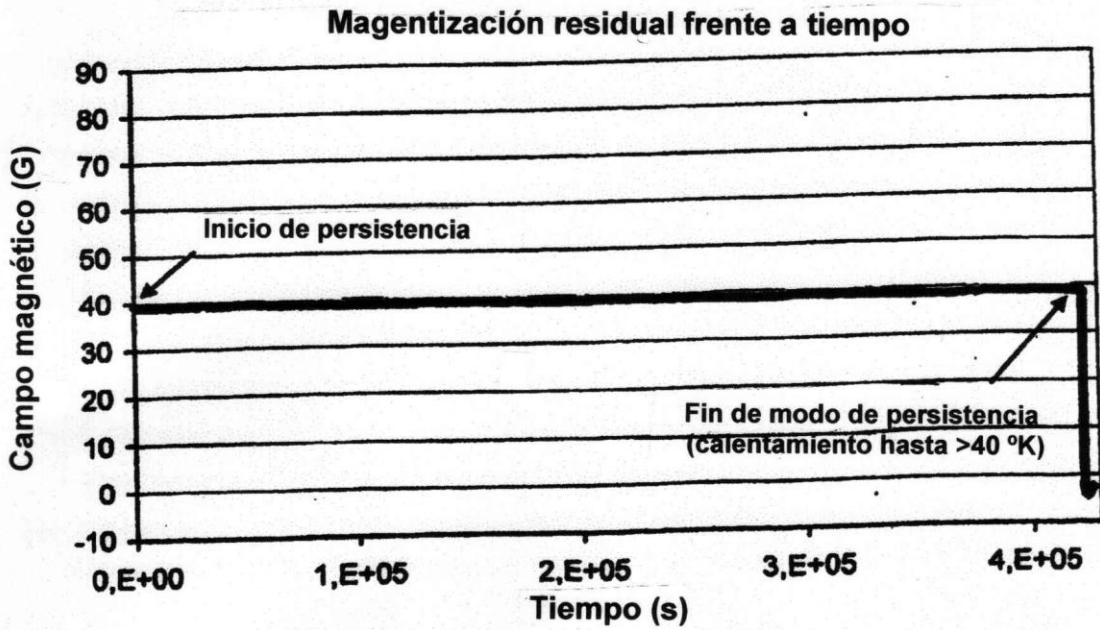


FIGURA 7B



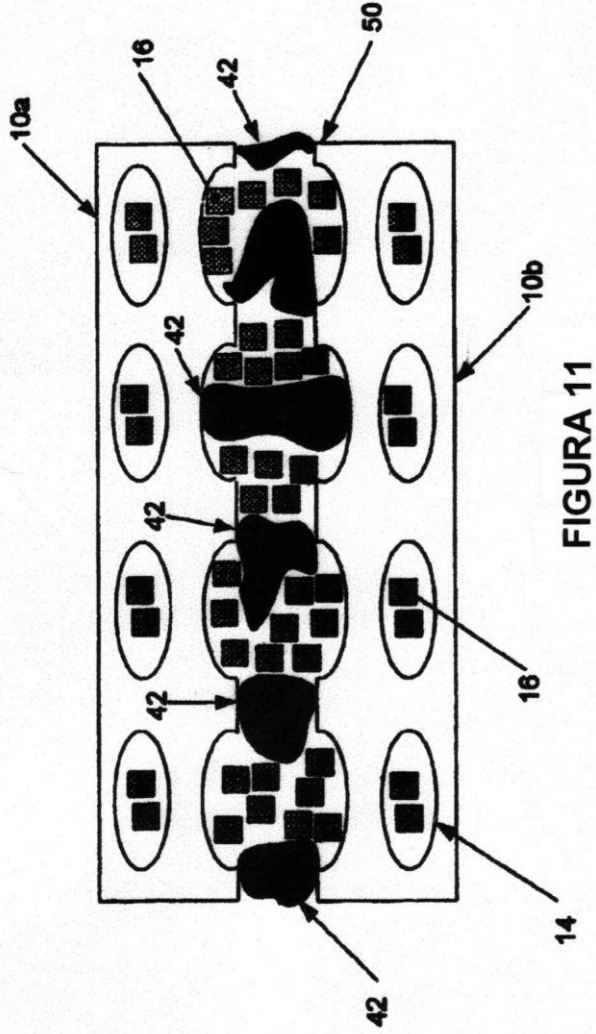
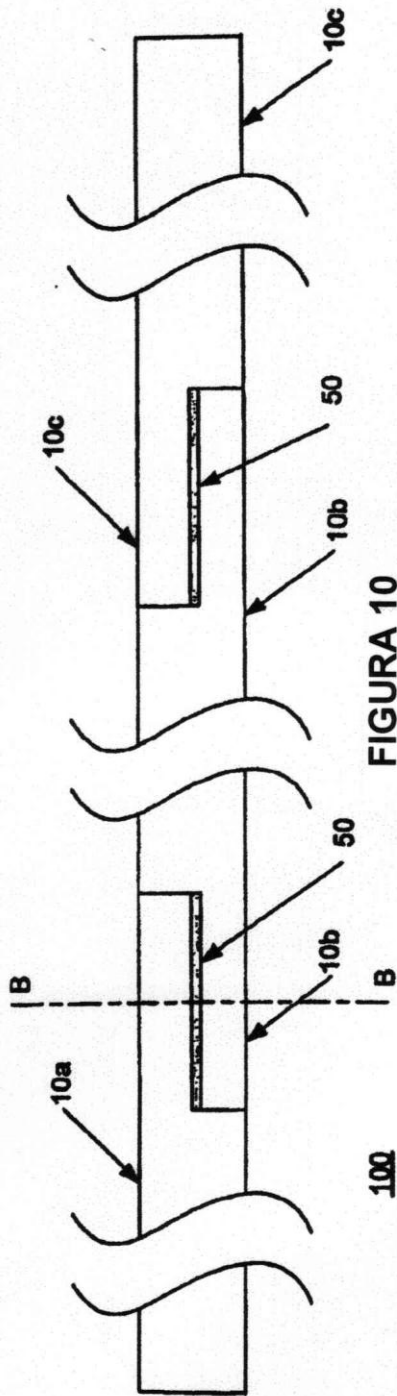


**FIGURA 8**



**FIGURA 9**





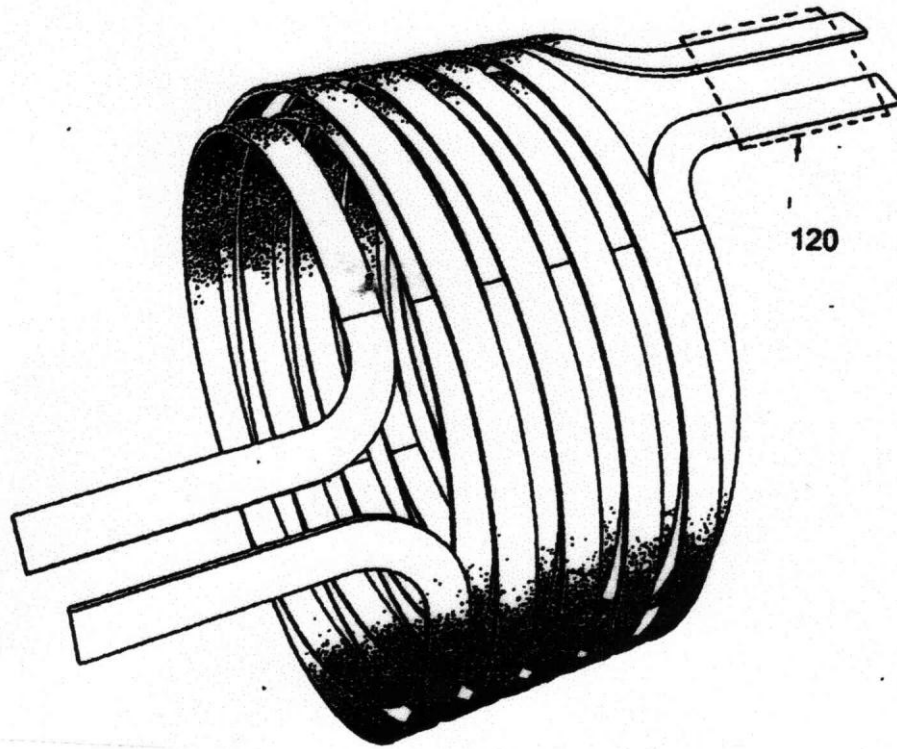
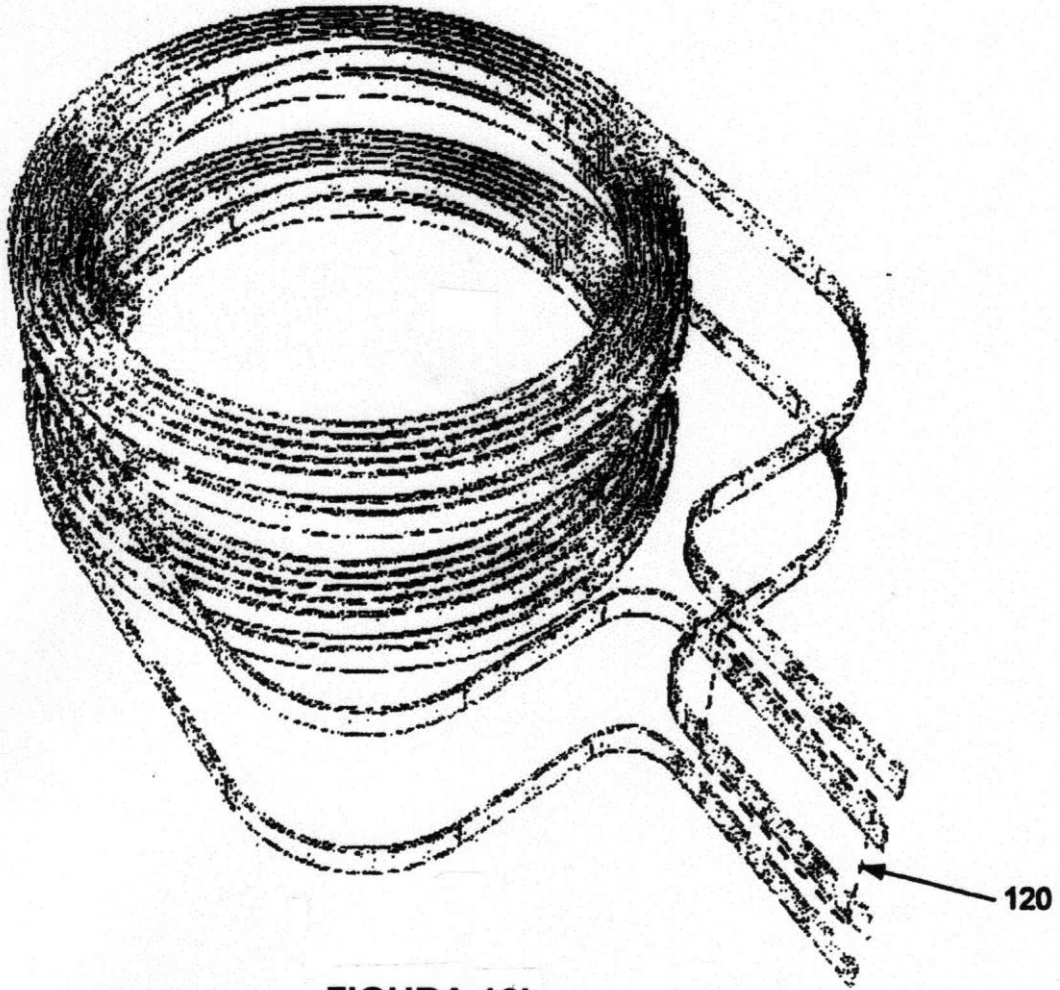


FIGURA 12a



**FIGURA 12b**

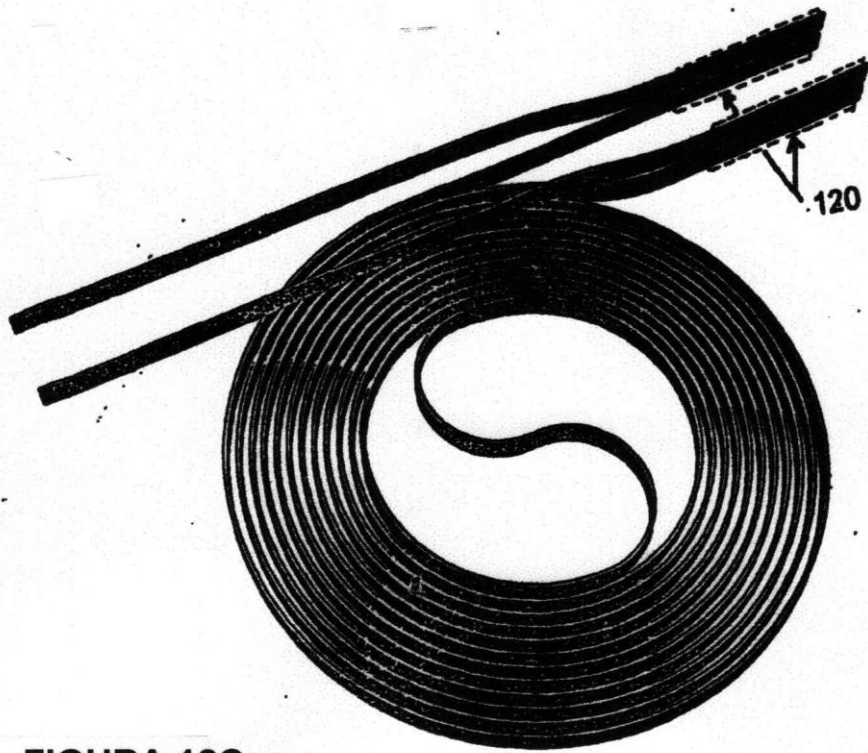


FIGURA 12C

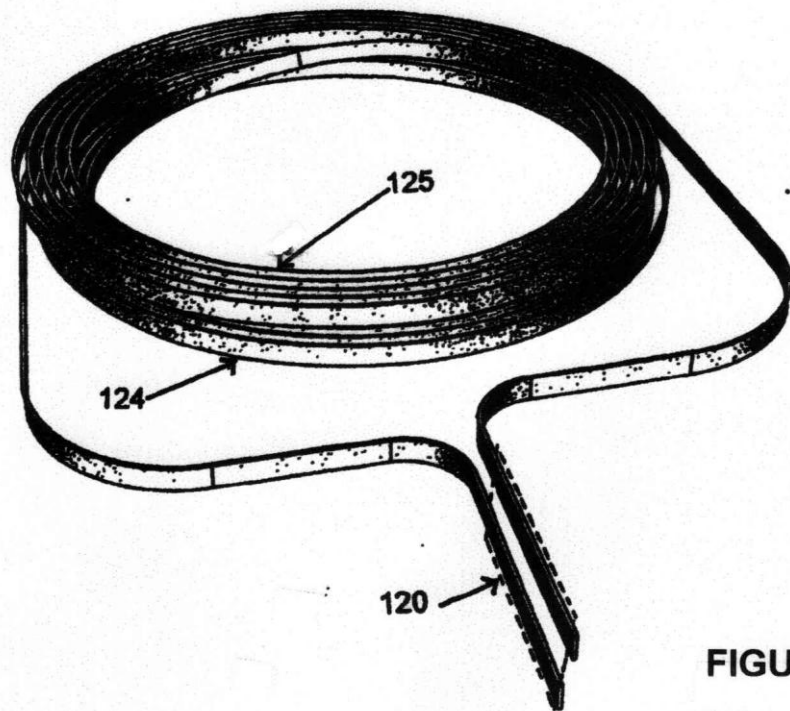
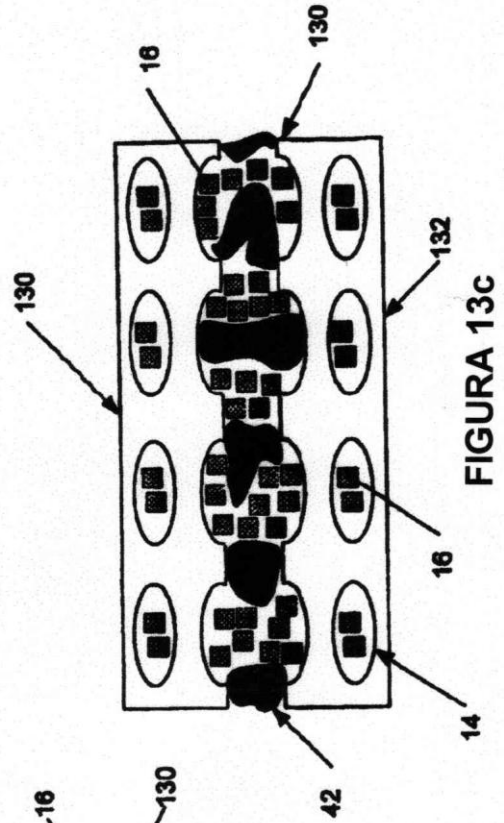
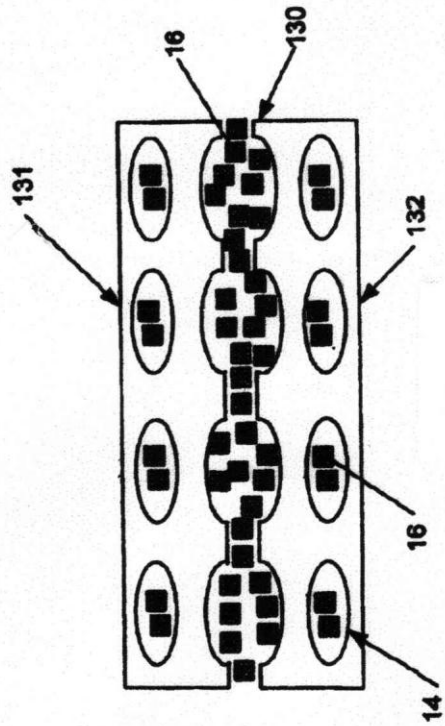
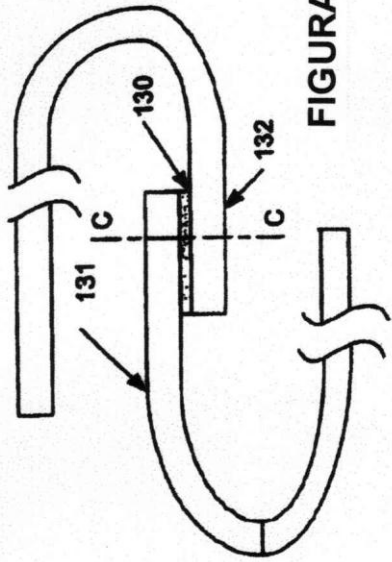
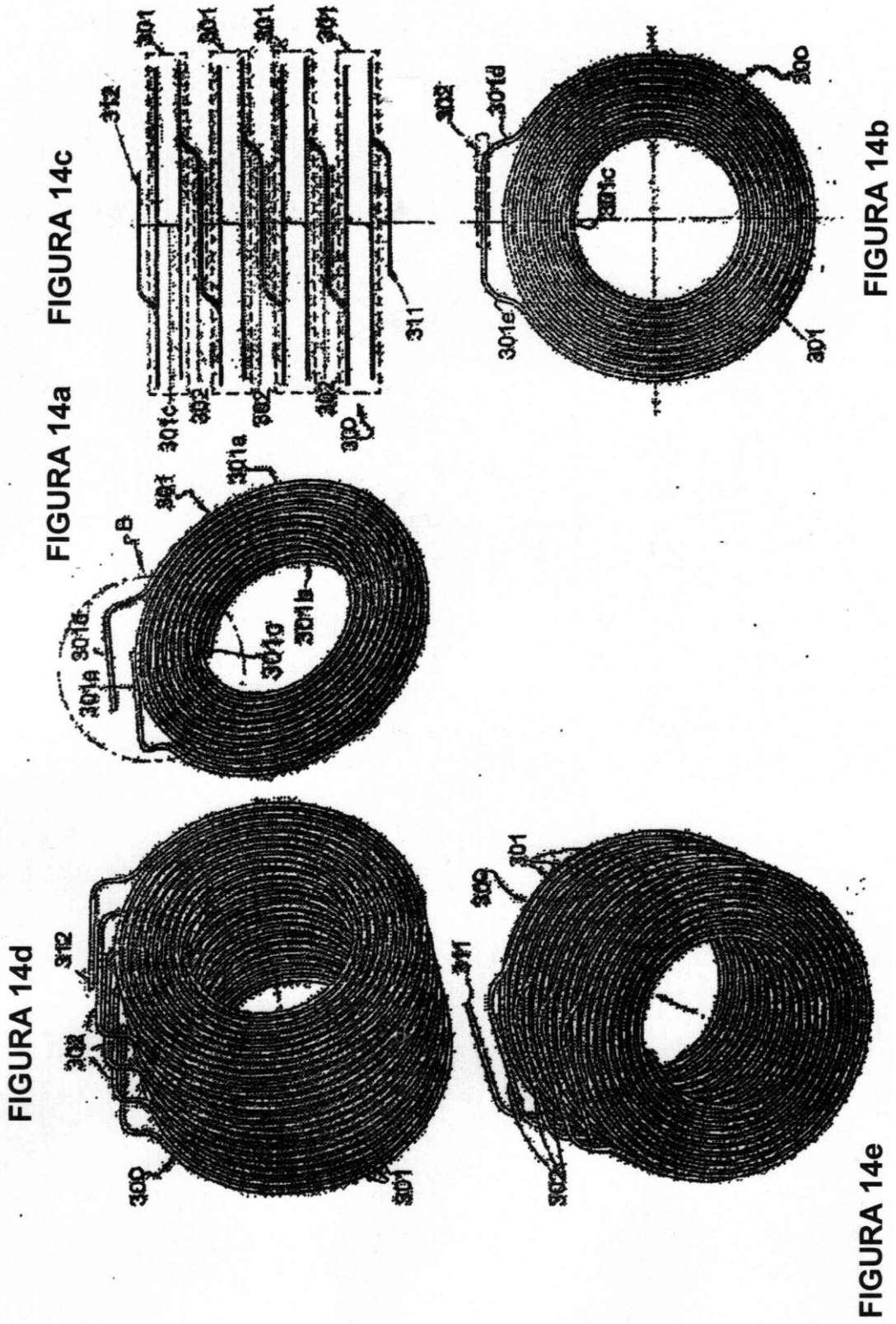


FIGURA 12d





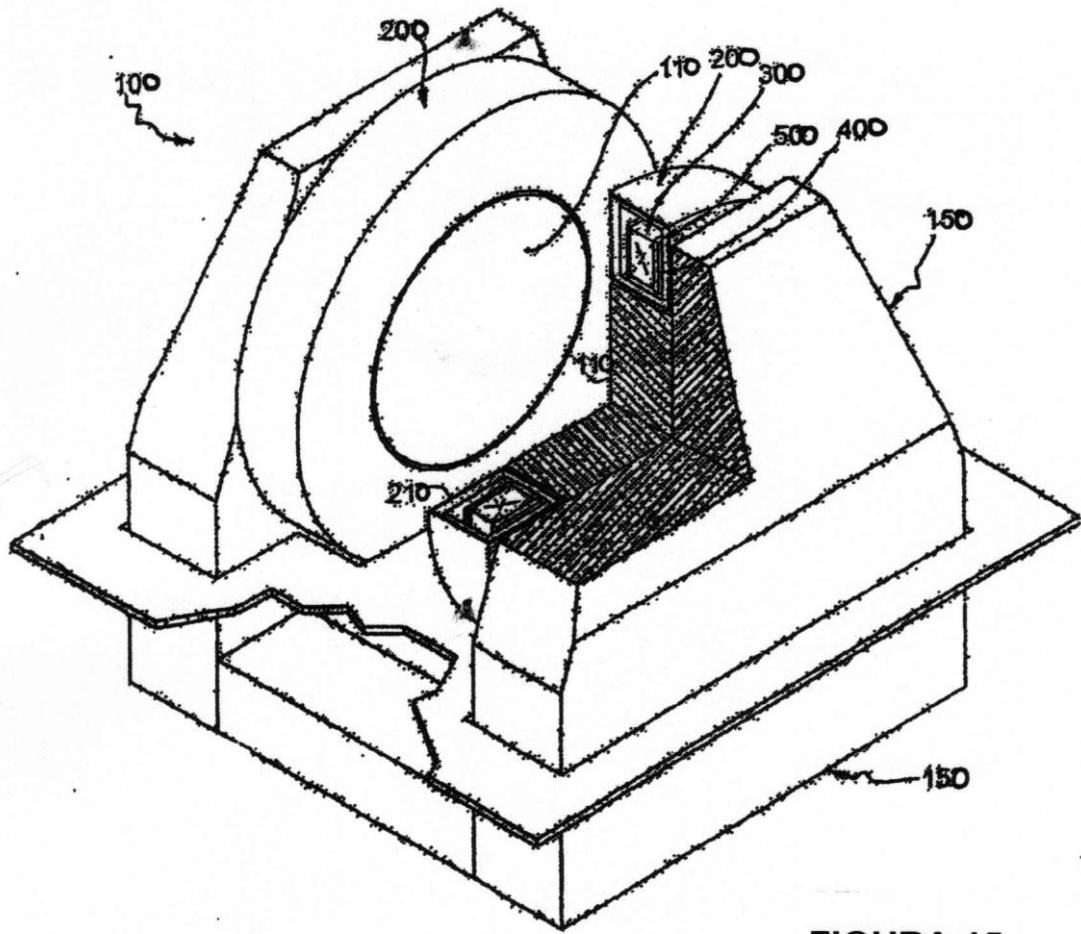


FIGURA 15

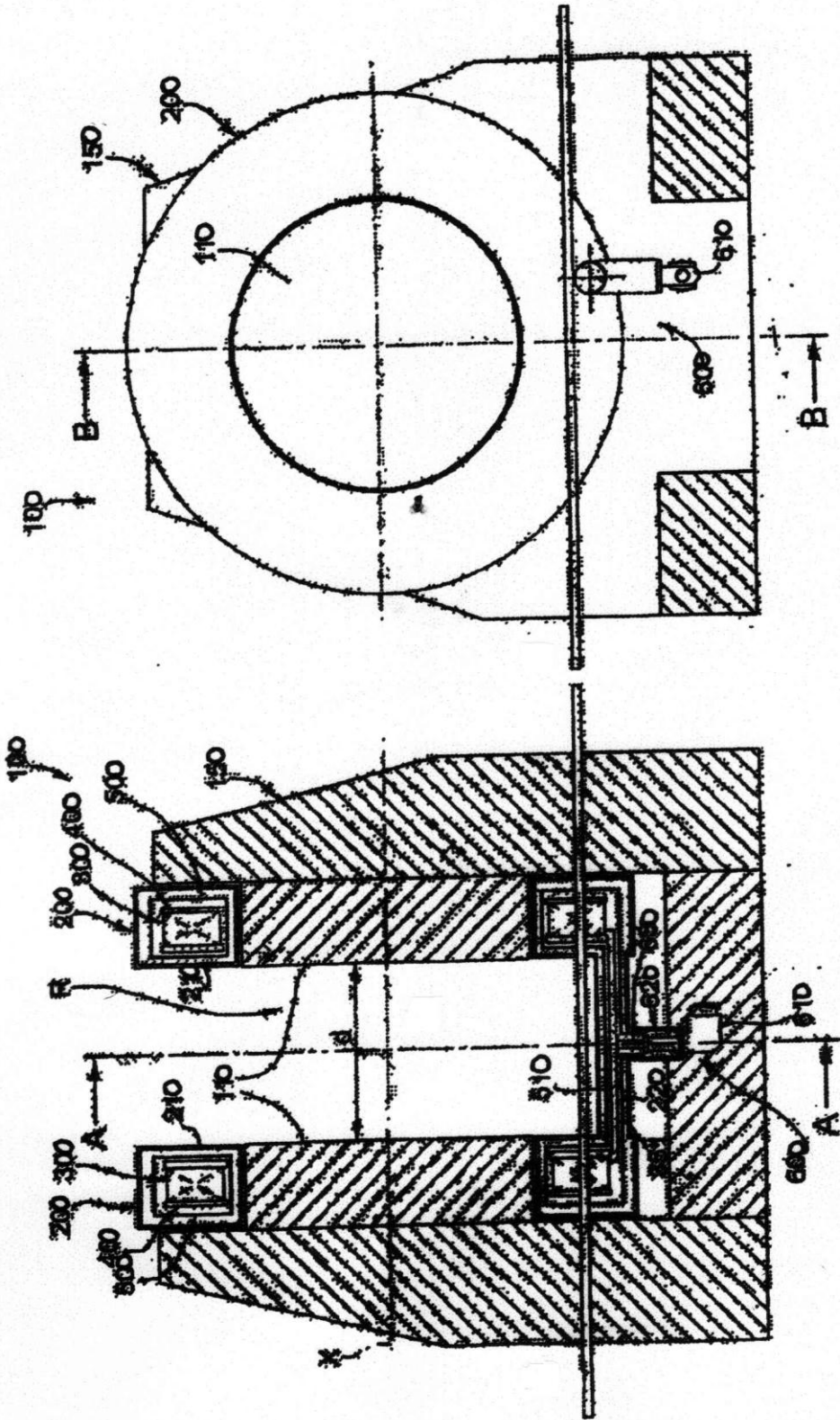


FIGURA 16b

FIGURA 116a