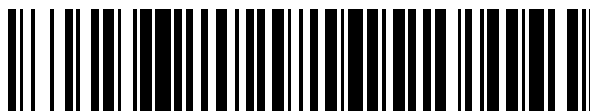


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 140**

51 Int. Cl.:

**H01B 12/02** (2006.01)

**H01B 12/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2009 PCT/US2009/038353**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2009 WO09120833**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2009 E 09726332 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.01.2017 EP 2257950**

54 Título: **Ensamblaje de cable superconductor y procedimiento de ensamblaje**

30 Prioridad:

**28.03.2008 US 57804**

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

**05.07.2017**

73 Titular/es:

**AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION  
(100.0%)  
64 Jackson Road  
Devens, MA 01432, US**

72 Inventor/es:

**MAGUIRE, JAMES, F.;  
YUAN, JIE y  
KING, CHRISTOPHER, G.**

74 Agente/Representante:

**SALVA FERRER, Joan**

ES 2 622 140 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

Ensamblaje de cable superconductor y procedimiento de ensamblaje

5 **REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS**

**[0001]** La solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud estadounidense número de serie 12/057.804, presentada el 28 de marzo de 2008.

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**1. Campo de la invención

**[0002]** La presente invención se refiere a conductores eléctricos flexibles, particularmente, haces de alambres superconductores dentro de un criostato flexible.

2. Descripción de la técnica anterior

**[0003]** Los conductores de poco peso que transmiten grandes cantidades de corriente eléctrica sin una pérdida significativa tienen numerosas aplicaciones. Por ejemplo, en aplicaciones de electro refinación como los procesos de producción de aluminio, se requieren altas cantidades de corriente. Otras aplicaciones que requieren conductores de alta corriente de poco peso son los buques de la Armada. Los buques de la Armada, habitualmente formados de materiales ferromagnéticos y que de ese modo tienen un campo magnético sustancial, están equipados con sistemas complejos de bobinados electromagnéticos denominados cables de desmagnetización que sirven para reducir el campo magnético del buque. Esto permite que los buques de la Armada evadan las artillerías magnetosensibles o los dispositivos como las minas que son detonadas por el gran campo magnético del buque.

**[0004]** Para adaptarse a los requisitos de alta corriente en las aplicaciones ejemplares descritas anteriormente, se utilizan generalmente alambres de gran diámetro, habitualmente fabricados de cobre o aluminio. Sin embargo, esto lleva a cables indeseadamente pesados, voluminosos, e inflexibles. Recientemente, se ha propuesto reemplazar los cables de alambre convencionales de gran diámetro por conductores formados de materiales superconductores de alta temperatura (HTS). Como se usa en la presente memoria, un material superconductor de alta temperatura (HTS) se refiere a un material que puede mantener el comportamiento superconductor a temperaturas de 20 K y superiores (es decir, temperatura crítica,  $T_c \geq 20$  K). Se describen cables HTS en la solicitud de patente estadounidense en tramitación núm. de serie 11/880.567. Por consiguiente, los cables HTS proporcionan una mayor flexibilidad, un peso reducido, y una capacidad de carga de alta corriente, tendiendo de ese modo ventajas significativas con respecto a los cables de alambre convencionales.

**[0005]** Tales cables HTS generalmente incluyen un criostato flexible, en el que se dispone una pluralidad de conductores superconductores. Por ejemplo, los conductores se pueden proporcionar como alambres planos (cintas), y una pluralidad de alambres planos se disponen en capas para formar una pila de alambres planos HTS. Dos o más pilas de alambres planos HTS se pueden disponer conjuntamente para formar una superestructura de pilas. La superestructura de pilas se mantiene en la configuración deseada al proporcionarles a los conductores una envoltura aislante externa, por lo que se forma un haz de alambres (cable) HTS. Uno o más haces de alambres HTS se disponen dentro del criostato, que está configurado para mantener los alambres HTS individuales a una temperatura que permite que los alambres HTS presenten la propiedad de la superconductividad.

**[0006]** Sin embargo, con el fin de facilitar el ensamblaje del haz de alambres HTS dentro del criostato, y de proporcionar una trayectoria de flujo de refrigerante a lo largo de la longitud del haz de alambres HTS, el diámetro interno del criostato es generalmente algo más grande que el de la dimensión externa del haz de alambres HTS dispuesto en el mismo. Esto puede ser problemático ya que, en uso, el haz de alambres HTS está sometido a una vibración que provoca una degradación en el aislamiento del haz con el paso del tiempo. En algunos casos, tal degradación lleva a cortocircuitos no deseados entre conductores o entre conductor y criostato. Además, también se produce un desgaste localizado del aislamiento en intervalos a lo largo de la longitud del cable HTS en ubicaciones correspondientes a las de los miembros de retención del cable.

**[0007]** El documento JP-09050719A describe un ensamblaje de cable superconductor que comprende espaciadores con forma espiral.

**RESUMEN**

**[0008]** De acuerdo con la invención, se proporciona un ensamblaje de cable superconductor como se define en la reivindicación 1 y se proporciona un procedimiento de ensamblar un ensamblaje de cable superconductor como se define en la reivindicación 12. Realizaciones adicionales de la invención son el tema de las reivindicaciones dependientes.

**[0009]** En un aspecto, se proporciona un ensamblaje de cable superconductor, incluyendo el ensamblaje un criostato alargado, uno o más conductores eléctricos formados de un material superconductor, dispuestos los conductores longitudinalmente dentro del criostato, y múltiples miembros de apoyo dispuestos entre los conductores y el criostato, dispuestos los miembros de apoyo de modo que se mantengan los conductores en una relación separada con respecto a una pared interior del criostato.

**[0010]** Realizaciones de este aspecto incluyen una o más de las siguientes características: Los miembros de apoyo están configurados para proporcionar un apoyo a lo largo de una longitud longitudinal de los conductores. Cada miembro de apoyo incluye un cuerpo generalmente tubular que es resiliente tanto radialmente como longitudinalmente. De acuerdo con la invención el miembro de apoyo incluye un tubo que tiene una abertura, configurada la abertura para proporcionarle al tubo una resiliencia longitudinal. La abertura incluye una rendija que se extiende desde un extremo del tubo hasta un segundo extremo opuesto del tubo a lo largo de una trayectoria helicoidal.

**[0011]** Además, cada miembro de apoyo puede incluir una hélice cilíndrica que tenga un eje longitudinal, y una línea de acción de una fuerza de apoyo correspondiente a la fuerza impuesta sobre los conductores por el miembro de apoyo se halla en una dirección ortogonal al eje longitudinal del miembro de apoyo. El miembro de apoyo incluye una resiliencia tanto en la dirección del eje longitudinal, como en una dirección ortogonal al eje longitudinal. Cada miembro de apoyo está configurado para estar en contacto con los conductores a lo largo de una línea de contacto que se extiende desde un primer extremo de los conductores hasta un segundo extremo de los conductores. En algunas realizaciones, la línea de contacto se extiende en una trayectoria helicoidal alrededor de la superficie externa del al menos un conductor eléctrico. La línea de contacto de un miembro de apoyo no cruza las líneas de contacto de los otros miembros de apoyo respectivos.

**[0012]** Además, los miembros de apoyo se extienden de manera continua a lo largo de la longitud axial del criostato, y están separados de manera sustancialmente equidistante alrededor de los conductores. El espaciado equidistante de los miembros de apoyo se mantiene con intervalos regulares de fijaciones de alambre. Los miembros de apoyo se extienden longitudinalmente dentro del criostato a lo largo de una trayectoria helicoidal. Los miembros de apoyo definen un conducto en el que se disponen cables de conexión de sensores.

**[0013]** Asimismo, los conductores incluyen múltiples conductores eléctricos formados de un material superconductor. Los conductores están envueltos en una sobreenvoltura, incluyendo la sobreenvoltura una funda de plástico que tiene una rendija que se extiende desde un primer extremo de la funda hasta un segundo extremo de la funda a lo largo de una trayectoria helicoidal, los conductores eléctricos son coaxiales con el criostato, y los miembros de apoyo residen entre el al menos un conductor y el criostato. Cada miembro de apoyo incluye un tubo que tiene una rendija que se extiende desde un extremo del tubo hasta un segundo extremo opuesto del tubo a lo largo de una trayectoria helicoidal, la rendija formada en la sobreenvoltura incluye un paso que es de dirección opuesta con relación a un paso de la rendija formada en cada miembro de apoyo. El paso de la rendija formada tanto en la sobreenvoltura como en los miembros de apoyo puede ser de aproximadamente 1 vuelta por metro.

**[0014]** En otro aspecto, se proporciona un procedimiento de ensamblar un ensamblaje de cable superconductor. El procedimiento de ensamblar incluye las siguientes etapas de procedimiento:  
Proporcionar al menos un conductor eléctrico formado de un material superconductor.

**[0015]** Posicionar múltiples miembros de apoyo alargados, comprendiendo cada miembro de apoyo un tubo que tiene una abertura, configurada la abertura para proporcionarle al tubo una resiliencia longitudinal, en donde el tubo comprende una rendija que se extiende desde un extremo del tubo hasta un segundo extremo opuesto del tubo a lo largo de una trayectoria helicoidal, con cuerpos radialmente y longitudinalmente resilientes alrededor de una periferia de uno o más conductores eléctricos superconductores de manera que un eje longitudinal de cada uno de los miembros de apoyo esté alineado generalmente con el un eje longitudinal de los conductores, y de manera que cada miembro de apoyo esté separado de manera equidistante con respecto a los otros miembros de apoyo.

**[0016]** Estirar los miembros de apoyo por lo que un diámetro externo de cada miembro de apoyo se reduce con relación a un diámetro externo del miembro de apoyo en un estado no restringido;

5 **[0017]** Insertar los conductores y los miembros de apoyo en un criostato alargado de manera que un eje longitudinal de los conductores se alinee sustancialmente con un eje longitudinal del criostato, y liberar el estiramiento de los miembros de apoyo de manera que el diámetro externo de cada miembro de apoyo se expanda de forma resiliente, y de manera que los conductores sean sostenidos por los miembros de apoyo dentro del criostato de modo que estén en una relación separada con respecto a una pared interior del criostato.

10 **[0018]** Realizaciones de este aspecto incluyen una o más de las siguientes características: El criostato, los conductores, y los miembros de apoyo están dimensionados respectivamente de tal manera que, cuando se libera el estiramiento, los miembros de apoyo se expanden de manera resiliente a un diámetro restringido que es inferior al diámetro de los miembros de apoyo en el estado no restringido, por lo que los miembros de apoyo ejercen una fuerza de apoyo dirigida radialmente sobre los conductores. La etapa de estirar se consigue aplicando una fuerza de tracción a los extremos opuestos de los miembros de apoyo.

15 **[0019]** Los modos de llevar a cabo la presente invención se explican a continuación por la referencia a una realización de la presente invención mostrada en los dibujos anexos. El objeto, otros objetos, características y ventajas antes mencionados de la presente invención serán evidentes por la descripción detallada de la realización de la invención presentada a continuación en conjunción con los dibujos anexos.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

25 **[0020]**

La Fig. 1 es una vista en sección transversal de un ensamblaje de cable HTS.

La Fig. 2 es una vista en sección transversal del haz de alambres HTS de la Fig. 1.

30 La Fig. 3 es una vista lateral de una disposición aislada de superestructura de tríada de pilas de alambres planos HTS.

La Fig. 3A es una vista en sección transversal de la disposición de superestructura de tríada de pilas de la Fig. 3.

La Fig. 4 es una vista lateral de una sobreenvoltura aislada.

La Fig. 4A es una vista en sección transversal de la sobreenvoltura de la Fig. 4.

La Fig. 5 es una vista lateral de un haz de alambres HTS aislado.

35 La Fig. 6 es una vista lateral de un miembro de apoyo aislado.

La Fig. 6A es una vista en sección transversal del miembro de apoyo de la Fig. 6.

La Fig. 7 es una vista lateral del miembro de apoyo aislado de la Fig. 6 bajo una fuerza de tracción aplicada axialmente.

40 La Fig. 8 es una vista en perspectiva de un haz de alambres HTS que muestra un único miembro de apoyo que se extiende a lo largo de una superficie externa del mismo a lo largo de una línea helicoidal L1.

La Fig. 9 es una vista en perspectiva de un alojamiento interno del criostato que muestra un único miembro de apoyo que se extiende a lo largo de una superficie interna del mismo a lo largo de una línea helicoidal L2.

La Fig. 10 es una vista en perspectiva de un haz de alambres HTS que muestra dos miembros de apoyo que se extienden a lo largo de una superficie externa del mismo a lo largo de trayectorias helicoidales que no se cruzan.

45 La Fig. 11 es una vista en perspectiva de un haz de alambres HTS que muestra dos miembros de apoyo que se extienden a lo largo de una superficie externa del mismo a lo largo de trayectorias lineales.

La Fig. 12 es una es una vista en sección transversal de un ensamblaje de cable HTS que tiene dos miembros de apoyo separados de manera equidistante dispuestos entre el criostato y el haz de alambres HTS.

50 La Fig. 13 es una es una vista en sección transversal de un ensamblaje de cable HTS que tiene tres miembros de apoyo separados de manera equidistante dispuestos entre el criostato y el haz de alambres HTS.

La Fig. 14 es una es una vista en sección transversal de un ensamblaje de cable HTS que tiene cuatro miembros de apoyo separados de manera equidistante dispuestos entre el criostato y el haz de alambres HTS.

La Fig. 15 es una vista en sección lateral del ensamblaje de cable HTS.

La Fig. 15A es una es una vista en sección transversal del ensamblaje de cable HTS de la Fig. 15.

55

#### **DESCRIPCIÓN DETALLADA**

**[0021]** Con referencia ahora a la Fig. 1, se muestra un ensamblaje de cable superconductor 10 que incluye un criostato 20, un haz de alambres HTS 70 dispuesto longitudinalmente dentro del criostato 20, y múltiples

miembros de apoyo 30 dispuestos entre el haz de alambres HTS 70 y el criostato 20. Aquí, se muestran tres miembros de apoyo 30.

**[0022]** Como se usa en la presente memoria, el término criostato 20 se refiere a un ensamblaje de 5 alojamientos tubulares alargados de acero inoxidable dispuestos coaxialmente 22, 24, en el que un fluido criogénico (refrigerante) se dispone dentro del espacio interior 21 del alojamiento interno 22, y un espacio intermedio 26 se proporciona entre el alojamiento interno 22 y el alojamiento externo 24. El espacio intermedio 26 está vacante de manera que exista un vacío en el espacio intermedio 26. Además, una capa de aislamiento (no mostrada) se puede proporcionar en una superficie interna 29 del alojamiento externo 24, o en una superficie externa 27 del alojamiento 10 interno 22. La longitud del criostato está determinada por la longitud deseada del haz de alambres HTS 70, y de ese modo puede hallarse en el intervalo de algunos metros a cientos de metros. Se proporcionan acoples (no mostrados) en extremos opuestos respectivos 23, 25 del criostato que permiten que el refrigerante, como gas de helio o nitrógeno líquido, se inyecte bajo presión en el espacio interior abierto 21 definido por la superficie interna 28 del alojamiento interno 22. El refrigerante, que fluye entre los extremos opuestos respectivos 23, 25 del criostato 20, 15 sirve para mantener los alambres HTS 72 a una temperatura que permita que los alambres HTS 72, y de ese modo el haz de alambres HTS 70, presenten la propiedad de la superconductividad.

**[0023]** El haz de alambres HTS 70 está formado de múltiples alambres HTS 72. En esta realización particular, el alambre HTS es un alambre "plano", es decir, el alambre HTS se forma para tener una sección 20 transversal generalmente rectangular en la que la anchura del alambre sea grande con relación a la profundidad del alambre. El tamaño del área transversal del alambre plano HTS está relacionado con la capacidad de carga de corriente del alambre de tal manera que un aumento del área transversal aumenta la capacidad de carga de corriente del alambre. El área transversal particular del alambre HTS está determinada por los requisitos específicos de la aplicación particular. Además, el tipo particular de alambre HTS empleado también está determinado por los 25 requisitos específicos de la aplicación particular. Ejemplos de tipos de superconductores de alta temperatura que se pueden emplear en el haz de alambres HTS 70 incluyen, pero no se limitan a, superconductores de óxido de cobre como óxido de bismuto, estroncio, calcio y cobre (BSCCO), óxido de itrio, bario y cobre (YBCO), y diboruro de magnesio ( $MgB_2$ ).

30 **[0024]** En algunas realizaciones, se pueden proporcionar alambres planos individuales 72 con un recubrimiento 76 de un material compatible antes del apilamiento. El material de recubrimiento 76 puede ser un conductor, un semiconductor, o un aislante. Por ejemplo, el material de recubrimiento 76 puede ser una película de poliimida de Kapton® (marca registrada de E. I. du Pont de Nemours and Company).

35 **[0025]** En algunas realizaciones, varios alambres planos HTS 72 se disponen en una configuración apilada 74, aunque el concepto inventivo descrito en la presente memoria no se limita a una configuración apilada. Como se observa en la Fig. 2, se pueden apilar alambres planos HTS individuales 72 de manera que los alambres planos HTS adyacentes 72 se puedan desviar ligeramente en la dirección de la anchura. En este caso, la pila resultante 74 40 tiene una forma transversal que es un paralelogramo como un romboide. La pila 74 se mantiene en la configuración deseada mediante cualquier medio apropiado, como envolviendo la pila 74 con polímero, papel, tira de lámina de metal o similares.

**[0026]** En la realización ilustrada, cada pila 74 está formada de ocho alambres planos HTS 72. Sin embargo, el concepto inventivo descrito en la presente memoria no se limita a este número, y cada pila 74 puede estar 45 constituida por cualquier número de alambres planos HTS 72. Además, diversas pilas 74 se pueden ensamblar entre sí para formar una superestructura de pilas 78 (Figs. 3, 3A). En la realización ilustrada, se ensamblan tres pilas 74 de alambres planos HTS 72 para formar una superestructura de tríada 78 que tenga una sección transversal con forma sustancialmente hexagonal. Sin embargo, se puede ensamblar cualquier número de pilas 74 en cualquier disposición deseada para formar una superestructura de pilas 78. El número de pilas 74 empleadas y la 50 configuración particular de las pilas 74 se determina por los requisitos específicos de la aplicación particular.

**[0027]** Al formar una superestructura de pilas 78 adecuada como se describe anteriormente, toda la superestructura se puede rotar alrededor del eje del cable HTS, es decir, un eje que es perpendicular al plano de la estructura transversal hexagonal, para obtener un cable que tenga una torsión a lo largo de su eje longitudinal (no 55 mostrado). La torsión se puede otorgar de manera que el paso sea en un modo espiral continuo. Por ejemplo, en el modo espiral, el cable se puede torcer en una dirección alrededor de su eje por toda la longitud del cable. Métodos adecuados que puedan proporcionar la ventaja de una fabricación simple serán fácilmente evidentes para alguien con conocimientos básicos en la técnica.

- [0028]** Otorgar una torsión a lo largo del eje del cable HTS puede proporcionar los siguientes beneficios. En primer lugar, la torsión puede otorgar una flexibilidad mejorada al cable HTS debido a la reducción de las fuerzas de flexión requeridas. En segundo lugar, la torsión puede otorgar una tolerancia de flexión mejorada a diámetros más pequeños antes del daño al cable HTS (medido por la degradación de corriente crítica ( $I_c$ )) debido a la compensación de tensión local que tiene lugar. En tercer lugar, la torsión puede otorgar una pérdida de potencia reducida al cable HTS cuando opera en un modo de campo de corriente alterna o con rampa, especialmente si se combina con una capa de separación de aislamiento o semiconductor entre cada cinta HTS.
- [0029]** En ciertas realizaciones, se pueden elegir formas y configuraciones de pilas y superestructuras de pilas para obtener una simplicidad de fabricación, un alto grado de ocupación de la sección transversal por la cinta HTS que da como resultado una alta densidad de corriente, un diámetro efectivo reducido de la superestructura, y una tolerancia de flexión general mejorada.
- [0030]** La superestructura de pilas 78 se mantiene en la configuración deseada mediante cualquier medio apropiado. En algunas realizaciones, la superestructura de pilas 78 se mantiene en la configuración deseada al proporcionarle a la superestructura de pilas 78 una sobreenvoltura 80 formada de cinta de polímero o una hélice de polímero preformada como una envoltura de politetrafluoroetileno (TEFLON). Como se usa en la presente memoria, el término haz de alambres HTS 70 se refiere a una superestructura de pilas 78 rodeada por una sobreenvoltura helicoidal 80.
- [0031]** La superestructura de tríada 78 de la Fig. 2 se muestra de manera aislada en la Fig. 3. Para simplificar la ilustración, las pilas 74 respectivas se ilustran extendiéndose longitudinalmente sin una torsión axial. Sin embargo, se entiende que la superestructura de tríada está provista de la torsión axial descrita anteriormente.
- [0032]** Con referencia ahora a la Fig. 4, se muestra de manera aislada una sobreenvoltura helicoidal 80. En algunas realizaciones, la sobreenvoltura 80 incluye un tubo alargado 85 provisto de una helicoidal 86 que se extiende longitudinalmente desde un primer extremo 82 de la sobreenvoltura 80 hasta un segundo extremo opuesto 84 de la misma. Como se usa en la presente memoria, el término rendija se refiere a una abertura que se extiende a través del espesor del material. En algunas realizaciones, la rendija helicoidal de la sobreenvoltura 86 tiene En algunas realizaciones, la rendija helicoidal de la sobreenvoltura 86 tiene una dimensión axial  $w_1$  que es pequeña con relación a la dimensión axial  $w_2$  de cada vuelta 87, de tal manera que se proporciona un espacio 83 entre vueltas adyacentes 87, 87 de la envoltura helicoidal 80. Cuando la sobreenvoltura 80 se dispone alrededor de la superestructura de tríada 78 como se muestra en la Fig. 5, el espacio 83 permite que el fluido refrigerante fluya hacia el espacio interior abierto 81 definido por la superficie interna 88 de la sobreenvoltura 80, permitiendo el contacto directo entre el refrigerante y los alambres HTS 72. Además, el espacio 83 permite la flexibilidad del haz de alambres HTS 70.
- [0033]** Con referencia de nuevo a la Fig. 1, se disponen múltiples miembros de apoyo 30 entre el haz de alambres HTS 70 y la superficie interna 28 del criostato 20 en una disposición que mantiene y sostiene el haz de alambres 70 en una relación separada con respecto a la superficie interna 28 del criostato. Además, los múltiples miembros de apoyo 30 están configurados para impedir sustancialmente el movimiento relativo entre el haz de alambres 70 y el criostato.
- [0034]** Cada miembro de apoyo 30 (Figs. 6, 6A) incluye un tubo alargado 35 que es resiliente tanto radialmente como longitudinalmente. Cada miembro de apoyo 30 está provisto de una rendija helicoidal 36 que se extiende longitudinalmente desde un primer extremo 32 del miembro de apoyo 30 hasta un segundo extremo opuesto 34 del mismo. Como resultado, el tubo 35 tiene la apariencia de un muelle helicoidal que tiene múltiples vueltas 37. Además, el tubo 35 también asume algunas características de un muelle helicoidal, como la resiliencia en las direcciones tanto axial como radial, así como la flexibilidad y la resiliencia al flexionarse.
- [0035]** La estructura helicoidal del miembro de apoyo 30 da como resultado una propiedad más ventajosa en la que el diámetro del miembro de apoyo 30 se puede reducir aumentando la longitud axial del miembro de apoyo 30. Tal alargamiento axial se puede conseguir aplicando una fuerza de tracción axial  $F_t$  a los extremos opuestos 32, 34 del miembro de apoyo 30. De ese modo, un miembro de apoyo 30 que está libre de fuerzas externas (mostrado en la Fig. 6), es decir, en un estado no restringido, tiene un diámetro no restringido  $d_1$  y longitud  $l_1$  correspondientes. Al aplicar una fuerza de tracción axial  $F_t$  a los extremos opuestos 32, 34 del miembro de apoyo 30 (mostrado en la Fig. 7), su diámetro disminuye con relación al diámetro no restringido ( $d_2 < d_1$ ), su longitud aumenta con relación a la longitud no restringida ( $l_2 > l_1$ ), y su forma transversal permanece sustancialmente circular. Generalmente, el diámetro del miembro de apoyo helicoidal 30 disminuye con el aumento de la fuerza de tracción axial  $F_t$  y el aumento

de la longitud axial del miembro de apoyo 30. Al liberar la fuerza de tracción axial  $F_t$ , el miembro de apoyo 30 retornará de manera resiliente a su diámetro no restringido y longitud axial. Además, al liberar la fuerza de tracción axial  $F_t$  cuando el miembro de apoyo 30 se halla en un estado restringido, por ejemplo, cuando el miembro de apoyo 30 reside en un espacio que tiene una dimensión que es inferior al diámetro no restringido, el miembro de apoyo 30 se expandirá de manera resiliente para llenar el espacio disponible mientras que sustancialmente retiene su forma transversal circular. Es decir, se expandirá a un diámetro externo que sea sustancialmente el mismo que el diámetro del espacio disponible. En el estado restringido, el miembro de apoyo 30 ejerce una fuerza dirigida radialmente  $F_r$  sobre la/s estructura/s restringida/s (Fig. 15A).

10 **[0036]** La estructura helicoidal del miembro de apoyo 30 da como resultado una propiedad aún más ventajosa en la que se permite que el refrigerante fluya longitudinalmente dentro del espacio interior 41 del miembro de apoyo 30. Además, el refrigerante que fluye dentro del espacio interior 21 del alojamiento interno 22 del criostato 20 puede fluir libremente a través de la rendija helicoidal del miembro de apoyo 36, por lo que se propicia y se mantiene un buen flujo de refrigerante a través del espacio interior 21.

15 **[0037]** La rendija helicoidal 36 de los miembros de apoyo 30 puede incluir un paso que sea de dirección opuesta con relación a un paso de la sobreenvoltura 80. Al proporcionarles a los miembros de apoyo 30 un paso que sea de dirección opuesta con relación a un paso de la sobreenvoltura 80, se mantiene un diámetro externo uniforme del ensamblaje. Además, se evita una condición en la que un miembro de apoyo 30 se asiente en la vacante helicoidal de la sobreenvoltura 80 correspondiente a la rendija de la sobreenvoltura 86. El efecto no deseado de esta condición es que el miembro de apoyo 30 cubriría de manera efectiva la rendija 86, impidiendo que el refrigerante se introdujese en el espacio interior 81 de la sobreenvoltura 80.

20 **[0038]** En algunas realizaciones, por ejemplo, los pasos de las rendijas 36, 86 formadas respectivamente en los miembros de apoyo 30 y la sobreenvoltura 80 son de aproximadamente 1 vuelta por metro, aunque el paso de las rendijas respectivas no se limita a 1 vuelta por metro. Además, la rendija de los miembros de apoyo 36 puede tener un paso que sea diferente al de la rendija de la sobreenvoltura 86.

30 **[0039]** Cada miembro de apoyo 30 se extiende de manera continua a lo largo de la longitud axial del haz de alambres HTS 70. En particular, cada miembro de apoyo 30 está configurado para ser sustancialmente contiguo a una superficie externa 89 de la sobreenvoltura 80 a lo largo de una primera línea de contacto L1 que se extiende desde el primer extremo 82 hasta el segundo extremo 84 de la sobreenvoltura 80 (Fig. 8). Es decir, cada miembro de apoyo 30 es contiguo a la superficie externa 89 excepto en los espacios de la rendija 33. Además, cada miembro de apoyo está configurado para ser sustancialmente contiguo a una superficie interna 28 del alojamiento interno 22 del criostato 20 a lo largo de una segunda línea de contacto L2 que se extiende desde el primer extremo 23 hasta el segundo extremo 25 del criostato 20 (Fig. 9). La primera línea de contacto L1 y la segunda línea de contacto L2 se extienden a lo largo de lados opuestos de la superficie externa 42 del miembro de apoyo 30. En algunas realizaciones, la primera línea de contacto L1 se extiende en una trayectoria helicoidal a lo largo de la superficie externa 89 de la sobreenvoltura 80 (Fig. 10), y la segunda línea de contacto L2 se extiende en una trayectoria helicoidal a lo largo de la superficie interna 28 del criostato 20. En otras realizaciones, la primera línea de contacto L1 se extiende en una trayectoria lineal a lo largo de la superficie externa 89 de la sobreenvoltura 80 (Fig. 11), y la segunda línea de contacto L2 se extiende en una trayectoria lineal a lo largo de la superficie interna 28 del criostato 20. En las realizaciones tanto de la Fig. 10 como de la Fig. 11, las líneas de contacto primera y segunda L1, L2 respectivas de cada miembro de apoyo 30 no cruzan las líneas de contacto L1, L2 correspondientes de los miembros de apoyo 30 restantes.

45 **[0040]** En algunas realizaciones, la rendija helicoidal del miembro de apoyo 36 tiene una dimensión axial  $w_3$  que es pequeña con relación a la dimensión axial  $w_4$  de cada vuelta 37 del miembro de apoyo, de tal manera que se proporciona un espacio 33 entre vueltas 37 adyacentes del miembro de apoyo helicoidal 30. Estas dimensiones relativas proporcionan una estructura en la que la superficie externa 42 del miembro de apoyo 30 proporciona sustancialmente un apoyo continuo a lo largo de las líneas de contacto primera L1 y segunda L2, por lo que se evita el desgaste localizado debido a la distribución de la carga de contacto a lo largo de las líneas de contacto L1, L2.

50 **[0041]** Los múltiples miembros de apoyo 30 se disponen entre el haz de alambres HTS 70 y el criostato 20 de modo que se mantenga el haz de alambres HTS 70 en una relación separada con respecto a la superficie interna 28 del criostato 20. En algunas realizaciones, dos miembros de apoyo 30 se posicionan en lados opuestos del haz de alambres HTS 70 dentro del criostato 20 (Fig. 12). En otras realizaciones, tres miembros de apoyo 30 se posicionan de manera equidistante alrededor del haz de alambres HTS 70 (Fig. 13). En otras realizaciones más, se pueden proporcionar más de tres miembros de apoyo, dispuestos los miembros de apoyo de manera equidistante alrededor

del haz de alambres HTS (Fig. 14).

**[0042]** En algunas realizaciones, los múltiples miembros de apoyo 30 están provistos de un diámetro no restringido que es ligeramente superior a la mitad de la diferencia entre el diámetro externo del haz de alambres HTS 70 y el diámetro interno del alojamiento interno 22 del criostato 20. Como resultado, cada miembro de apoyo 30 se dispone dentro del espacio interior abierto 21 del criostato 20 de tal manera que el diámetro se restringe para ser ligeramente inferior al diámetro no restringido, por lo que se ejerce una fuerza de apoyo dirigida radialmente por cada miembro de apoyo 30 sobre la superficie interna 28 del criostato 20 y sobre la superficie externa del haz de alambres HTS 70. Cuando cada miembro de apoyo 30 tiene el mismo diámetro no restringido, y cada miembro de apoyo 30 se dispone de manera equidistante alrededor del haz de alambres HTS 70, el haz de alambres HTS 70 se sostiene de modo que sea coaxial con el criostato 20, y se le restringe el movimiento con relación al criostato 20.

**[0043]** En algunas realizaciones, los miembros de apoyo 30 se mantienen en sus posiciones relativas deseadas como resultado de las fuerzas de fricción entre los componentes del ensamblaje respectivos debido a la resiliencia radial del miembro de apoyo 30. En otras realizaciones, los miembros de apoyo 30 se mantienen en sus posiciones relativas deseadas usando fijaciones a intervalos axiales regulares. Tales fijaciones pueden ser de cualquier tipo o material apropiado. Por ejemplo, se pueden aplicar fijaciones de alambre 39 (Fig. 10) a intervalos axiales regulares, como una vez por rotación completa del miembro de apoyo alrededor del haz de alambres 70.

**[0044]** En algunas realizaciones, el ensamblaje de cable superconductor 10 también incluye una pluralidad de sensores 92 dispuestos en una o más ubicaciones a lo largo de la longitud axial del mismo para monitorizar la operación del ensamblaje 10 durante el uso. Tales sensores 92 se pueden usar para detectar uno o más de, por ejemplo, la temperatura, el voltaje, y/o la corriente de los alambres HTS 72, las pilas 74 y/o los haces de alambres 70, la presión del refrigerante dentro del espacio interior 21, y el campo magnético generado. En algunas realizaciones, el miembro de apoyo 30 sirve como conducto para los cables de conexión de alambre de los sensores 94 y los sensores 92 dispuestos dentro del ensamblaje 10. Por ejemplo, los cables de conexión de alambre de los sensores 94 se pueden disponer dentro, y extenderse a lo largo de la longitud del, espacio interior hueco 41 del miembro de apoyo 30 (Figs. 15, 15A). Para algunos fines, en una ubicación deseada a lo largo de la longitud axial del haz de alambres 70, un sensor 92 sale del espacio interior 41 pasando a través de la rendija 36 formada en el miembro de apoyo 30. Además, ya que la sobreenvoltura 80 incluye la rendija de la sobreenvoltura 86, el sensor 92 se introduce en el espacio interno 81 del haz de alambres HTS 70, y detecta el parámetro apropiado de los alambres HTS 72, las pilas 74, y/o el haz de alambres 70. Para otros fines, en una ubicación deseada a lo largo de la longitud axial del haz de alambres 70, un sensor 92 permanece dentro del espacio interior 41 del miembro de apoyo 30, y detecta el parámetro apropiado de los alambres HTS 72, las pilas 74, y/o el haz de alambres 70 desde esa ubicación.

**[0045]** En algunas realizaciones, el ensamblaje de cable superconductor descrito anteriormente 10 se ensambla de acuerdo con las siguientes etapas de procedimiento:

**[0046]** Los miembros de apoyo 30 se posicionan alrededor de una periferia del haz de alambres 70 de manera que un eje longitudinal de cada uno de los miembros de apoyo 30 esté alineado generalmente con el un eje longitudinal del haz de alambres 70, y de manera que cada miembro de apoyo 30 esté separado de manera equidistante alrededor de una circunferencia del haz de alambres 70 con respecto a los otros miembros de apoyo 30.

**[0047]** Los miembros de apoyo alargados se estiran longitudinalmente aplicando una fuerza de tracción dirigida axialmente  $F_t$  a los extremos opuestos 32, 34 de los miembros de apoyo alargados 30 por lo que un diámetro externo de cada miembro de apoyo 30 se reduce (es decir,  $d_2$ , Fig. 7) con relación a un diámetro externo  $d_1$  del miembro de apoyo 30 en un estado no restringido. Mientras se mantiene la fuerza de tracción aplicada  $F_t$ , el haz de alambres 70 y los miembros de apoyo 30 se insertan en el criostato 20 de manera que un eje longitudinal del haz de alambres 70 se alinee sustancialmente con un eje longitudinal del criostato 20. La reducción del diámetro externo de los miembros de apoyo 30 facilita la inserción de los miembros de apoyo 30 y el haz de alambres 70 en el criostato 20.

**[0048]** Una vez que el haz de alambres 70 y los miembros de apoyo se disponen dentro del criostato 20, la fuerza de tracción  $F_t$  se libera de los extremos opuestos 32, 34 de los miembros de apoyo 30 de manera que el diámetro externo de cada miembro de apoyo se expanda de manera resiliente, y de manera que el haz de alambres 70 sea sostenido por los miembros de apoyo 30 dentro del criostato 20 en una relación separada con respecto a una pared interior del criostato 20. En algunas realizaciones, el criostato 20, el haz de alambres 70, y los miembros de



apoyo 30 están dimensionados respectivamente de tal manera que, cuando se libera la fuerza de tracción  $F_t$ , los miembros de apoyo 30 se expanden de manera resiliente a un diámetro restringido que es inferior a los diámetros no restringidos  $d_1$  de los miembros de apoyo 30, por lo que los miembros de apoyo 30 ejercen una fuerza de apoyo dirigida radialmente  $F_r$  sobre el haz de alambres 70 y el criostato 20.

5

**[0049]** Una realización ilustrativa seleccionada de la invención se describe anteriormente con cierto detalle. Se debería entender que sólo se han descrito en la presente memoria las estructuras consideradas necesarias para clarificar la presente invención. Se asume que otras estructuras convencionales, y las de componentes secundarios y auxiliares del sistema, son conocidas y entendidas por los expertos en la técnica. Además, mientras que

10

anteriormente se ha descrito un ejemplo práctico de la presente invención, la presente invención no se limita al ejemplo práctico descrito anteriormente, sino que se pueden llevar a cabo diversas modificaciones de diseño sin desviarse de la presente invención como se expone en las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un ensamblaje de cable superconductor (10), comprendiendo el ensamblaje:
- 5 un criostato alargado (20);  
al menos un conductor eléctrico formado de un material superconductor, dispuesto el al menos un conductor longitudinalmente dentro del criostato (20);  
múltiples miembros de apoyo (30) dispuestos entre el al menos un conductor y el criostato (20), dispuestos los miembros de apoyo (30) de modo que se mantenga el al menos un conductor en una relación separada con  
10 respecto a una pared interior del criostato (20),
- caracterizado por que,**
- cada miembro de apoyo (30) que comprende un tubo que tiene una abertura, configurada la abertura para  
15 proporcionarle al tubo una resiliencia longitudinal, en donde la abertura comprende una rendija (36) que se extiende desde un extremo (32) del tubo hasta un segundo extremo opuesto (34) del tubo a lo largo de una trayectoria helicoidal.
2. El ensamblaje de cable superconductor de la reivindicación 1, en donde cada miembro de apoyo (30)  
20 comprende un cuerpo alargado generalmente tubular que es resiliente tanto radialmente como longitudinalmente.
3. El ensamblaje de cable superconductor de las reivindicaciones 1 y 2 en donde los miembros de apoyo  
(30) están configurados para proporcionar un apoyo a lo largo de una longitud longitudinal del al menos un  
25 conductor.
4. El ensamblaje de cable superconductor de las reivindicaciones 1 y 2, en donde cada miembro de  
apoyo (30) comprende una hélice cilíndrica que tiene un eje longitudinal, y una línea de acción de una fuerza de  
apoyo correspondiente a la fuerza impuesta sobre el al menos un conductor por el miembro de apoyo (30) se halla  
en una dirección ortogonal al eje longitudinal del miembro de apoyo, teniendo cada miembro de apoyo (30) una  
30 resiliencia tanto en la dirección del eje longitudinal, como en una dirección ortogonal al eje longitudinal.
5. El ensamblaje de cable superconductor de la reivindicación 1, en donde cada miembro de apoyo (30)  
está configurado para estar en contacto con el al menos un conductor a lo largo de una línea de contacto que se  
extiende desde un primer extremo del al menos un conductor eléctrico hasta un segundo extremo del al menos un  
35 conductor eléctrico, extendiéndose la línea de contacto en una trayectoria helicoidal alrededor de la superficie  
externa del al menos un conductor eléctrico o no cruzando la línea de contacto de un miembro de apoyo las líneas  
de contacto de los otros miembros de apoyo respectivos.
6. El ensamblaje de cable superconductor de las reivindicaciones 1 y 2, en donde los miembros de apoyo  
40 (30) se extienden de manera continua a lo largo de la longitud axial del criostato (20) o están separados de manera  
sustancialmente equidistante alrededor del al menos un conductor eléctrico.
7. El ensamblaje de cable superconductor de la reivindicación 6, en donde el espaciamiento equidistante  
de los miembros de apoyo (30) se mantiene con intervalos regulares de fijaciones de alambre (39).  
45
8. El ensamblaje de cable superconductor de las reivindicaciones 1 y 2, en donde los miembros de apoyo  
(30) se extienden longitudinalmente dentro del criostato (20) a lo largo de una trayectoria helicoidal.
9. El ensamblaje de cable superconductor de las reivindicaciones 1 y 2, en donde los miembros de apoyo  
50 (30) definen un conducto en el que se disponen cables de conexión de sensores (94).
10. El ensamblaje de cable superconductor de las reivindicaciones 1 y 2, en donde el al menos un  
conductor comprende múltiples conductores eléctricos formados de un material superconductor, los múltiples  
conductores eléctricos se envuelven en una sobreenvoltura (80), incluyendo la sobreenvoltura (80) una funda de  
55 plástico que tiene una rendija (86) que se extiende desde un primer extremo (82) de la funda hasta un segundo  
extremo (84) de la funda a lo largo de una trayectoria helicoidal,
- los múltiples conductores eléctricos son coaxiales con el criostato (20), y  
los miembros de apoyo (30) residen entre el al menos un conductor y el criostato (20),

5 cada miembro de apoyo (30) comprende un tubo que tiene una rendija (36) que se extiende desde un extremo (32) del tubo hasta un segundo extremo opuesto (34) del tubo a lo largo de una trayectoria helicoidal, la rendija (86) formada en la sobreenvoltura (80) comprende un paso que es de dirección opuesta con relación a un paso de la rendija (36) formada en cada miembro de apoyo (30), siendo el paso de la rendija formada tanto en la sobreenvoltura (80) como en los miembros de apoyo (30) de aproximadamente 1 vuelta por metro.

11. El ensamblaje de cable superconductor de las reivindicaciones 1 y 2, en donde el criostato (20) es flexible.

10

12. Un procedimiento de ensamblar un ensamblaje de cable superconductor (10), comprendiendo el procedimiento de ensamblar las siguientes etapas de procedimiento:

proporcionar al menos un conductor eléctrico formado de un material superconductor,

15 20 posicionar múltiples miembros de apoyo alargados (30), comprendiendo cada miembro de apoyo (30) un tubo que tiene una abertura, configurada la abertura para proporcionarle al tubo una resiliencia longitudinal, en donde el tubo comprende una rendija (36) que se extiende desde un extremo (32) del tubo hasta un segundo extremo opuesto (34) del tubo a lo largo de una trayectoria helicoidal, con cuerpos radialmente y longitudinalmente resilientes alrededor de una periferia del al menos un conductor eléctrico de manera que un eje longitudinal de cada uno de los múltiples miembros de apoyo (30) esté alineado generalmente con el eje longitudinal del al menos un conductor eléctrico, y de manera que cada miembro de apoyo (30) esté separado de manera equidistante con respecto a los otros miembros de apoyo (30);

estirar los miembros de apoyo alargados (30) por lo que un diámetro externo de cada miembro de apoyo (30) se reduce con relación a un diámetro externo del miembro de apoyo (30) en un estado no restringido;

25 30 insertar el al menos un conductor eléctrico y los miembros de apoyo alargados (30) en un criostato alargado (20) de manera que un eje longitudinal del al menos un conductor eléctrico se alinee sustancialmente con un eje longitudinal del criostato (20); y

liberar el estiramiento de los miembros de apoyo (30) de manera que el diámetro externo de cada miembro de apoyo (30) se expanda de forma resiliente, y de manera que el al menos un conductor eléctrico sea sostenido por los miembros de apoyo (30) dentro del criostato (20) de modo que esté en una relación separada con respecto a una pared interior del criostato (20).

13. El procedimiento de la reivindicación 12 en donde el criostato (20), el al menos un conductor eléctrico, y los miembros de apoyo (30) están dimensionados respectivamente de tal manera que, cuando se libera el estiramiento, los miembros de apoyo (30) se expanden de manera resiliente a un diámetro restringido que es inferior al diámetro de los miembros de apoyo (30) en el estado no restringido, por lo que los miembros de apoyo (30) ejercen una fuerza de apoyo dirigida radialmente ( $F_r$ ) sobre el al menos un conductor eléctrico y la etapa de estirar se consigue aplicando una fuerza de tracción ( $F_t$ ) a los extremos opuestos de los miembros de apoyo alargados (30).

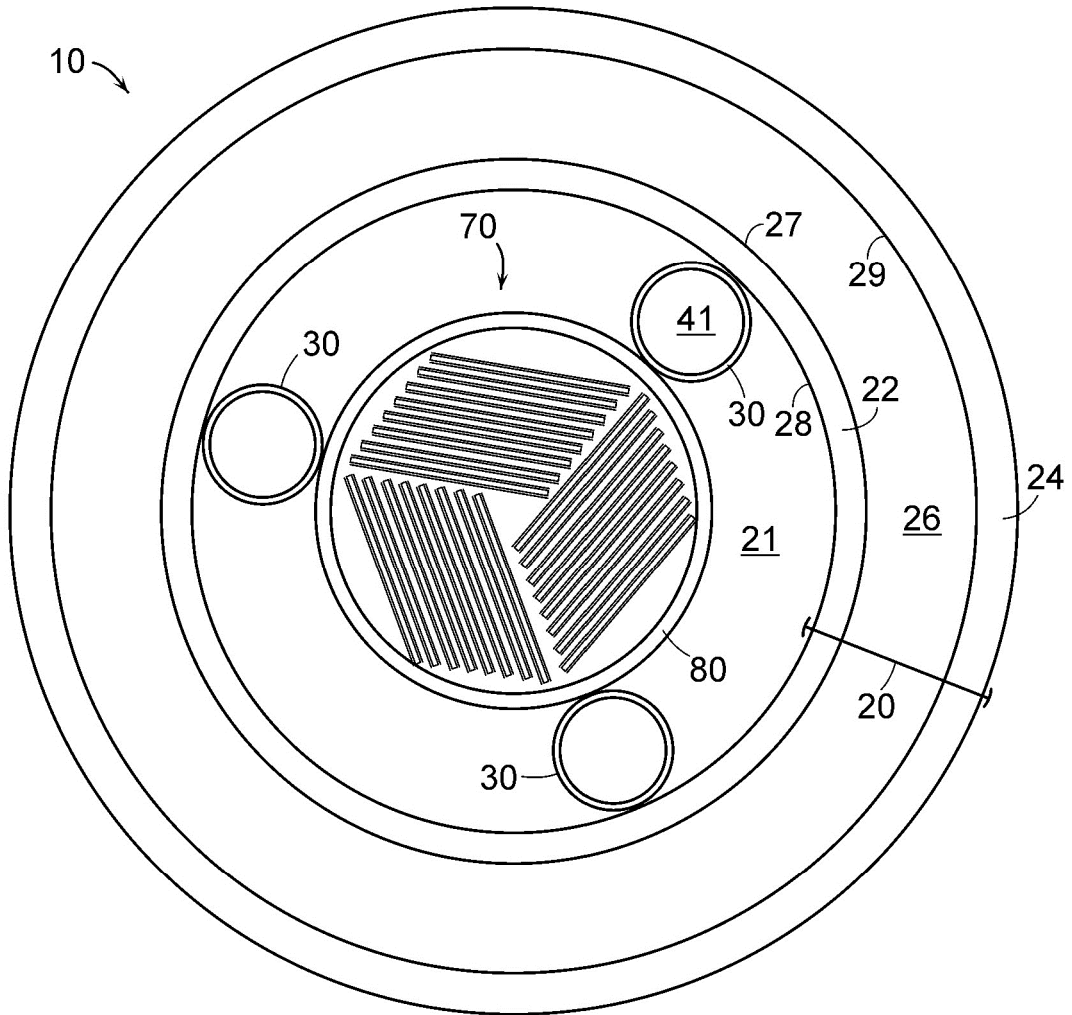


FIG. 1

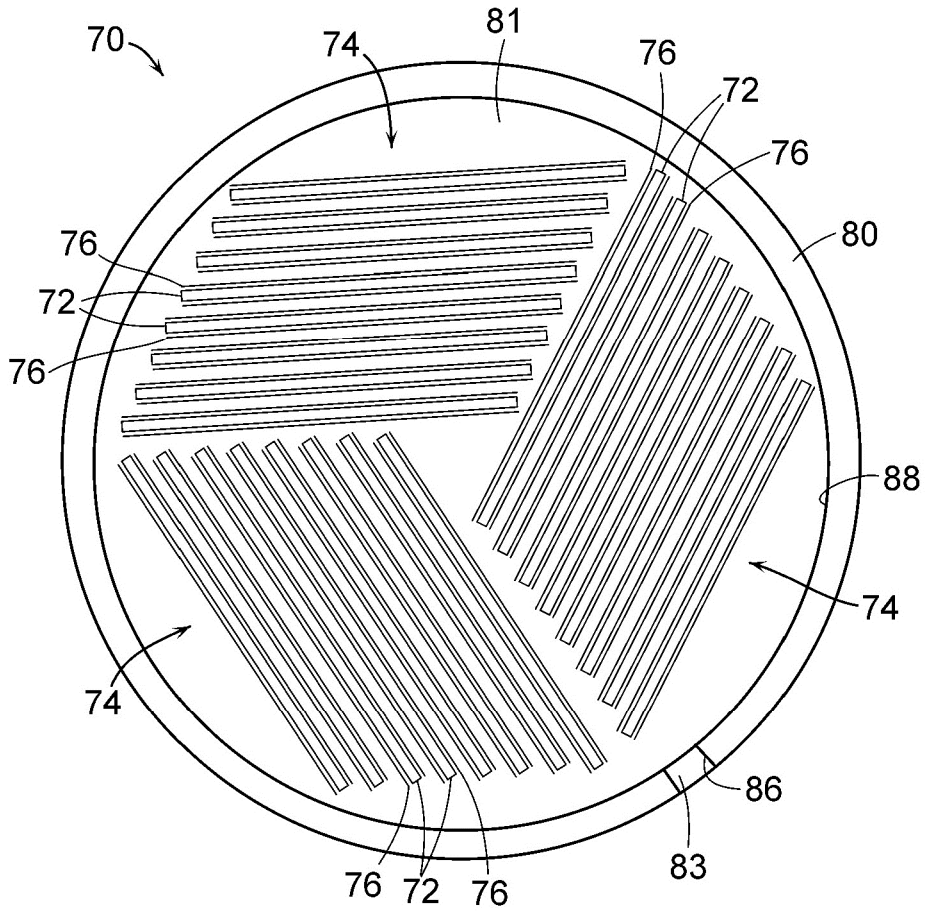


FIG. 2

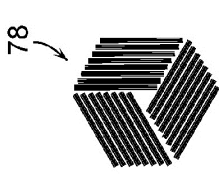


FIG. 3A

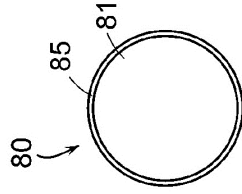


FIG. 4A

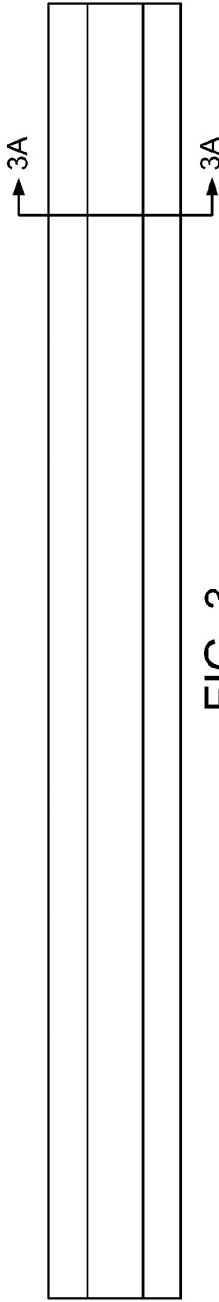


FIG. 3

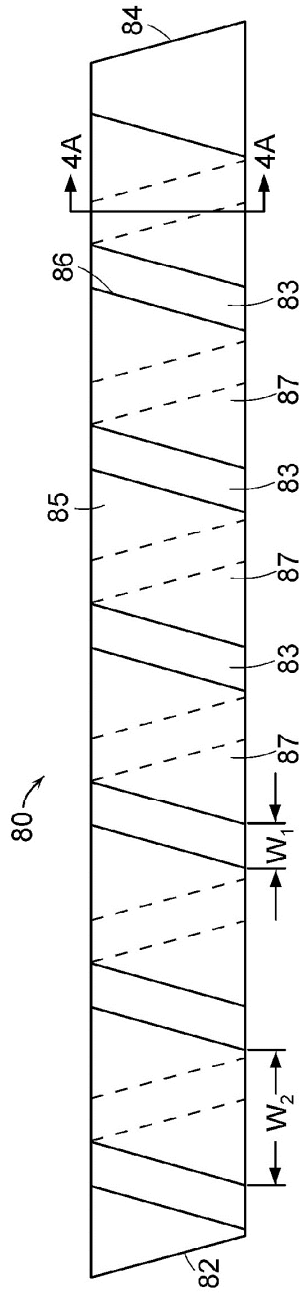


FIG. 4

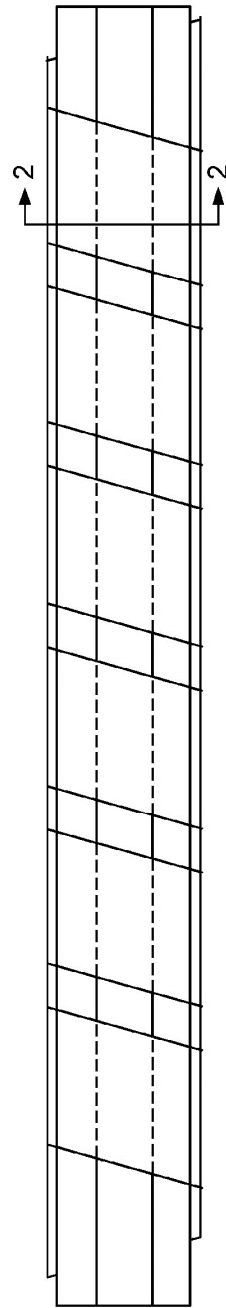


FIG. 5

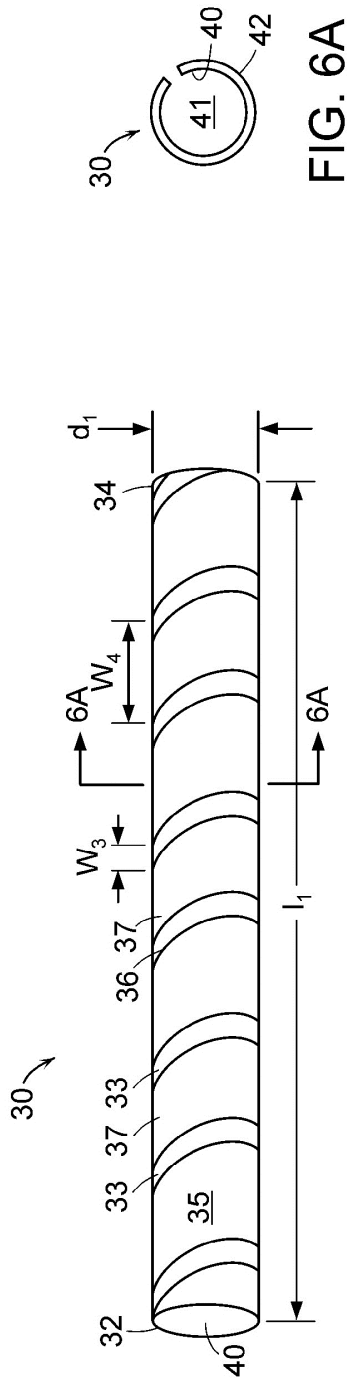
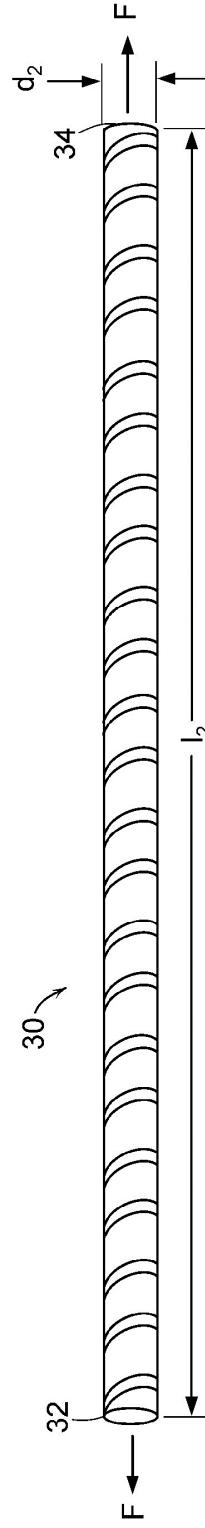


FIG. 6



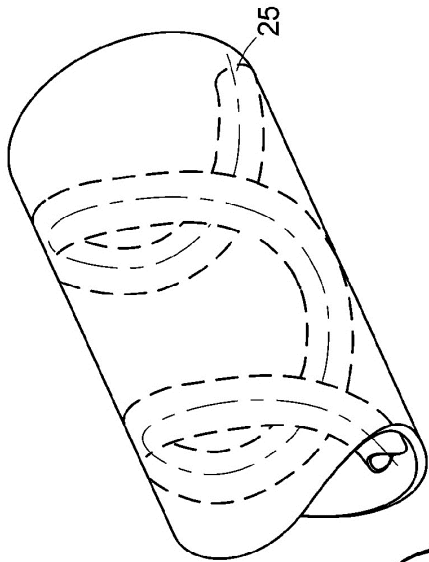


FIG. 9

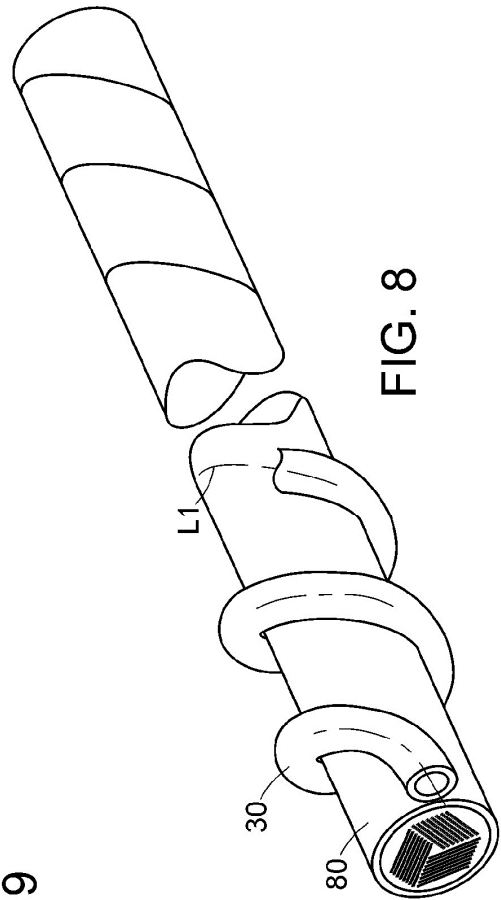
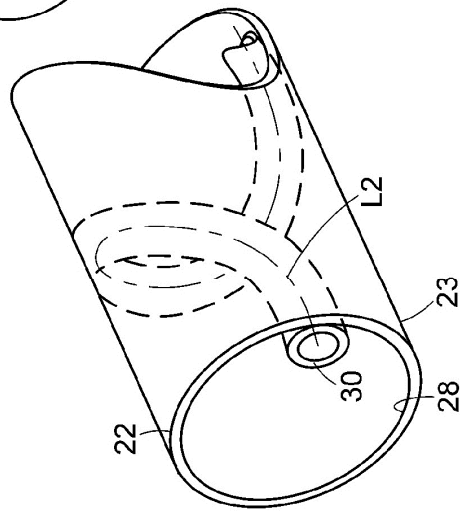
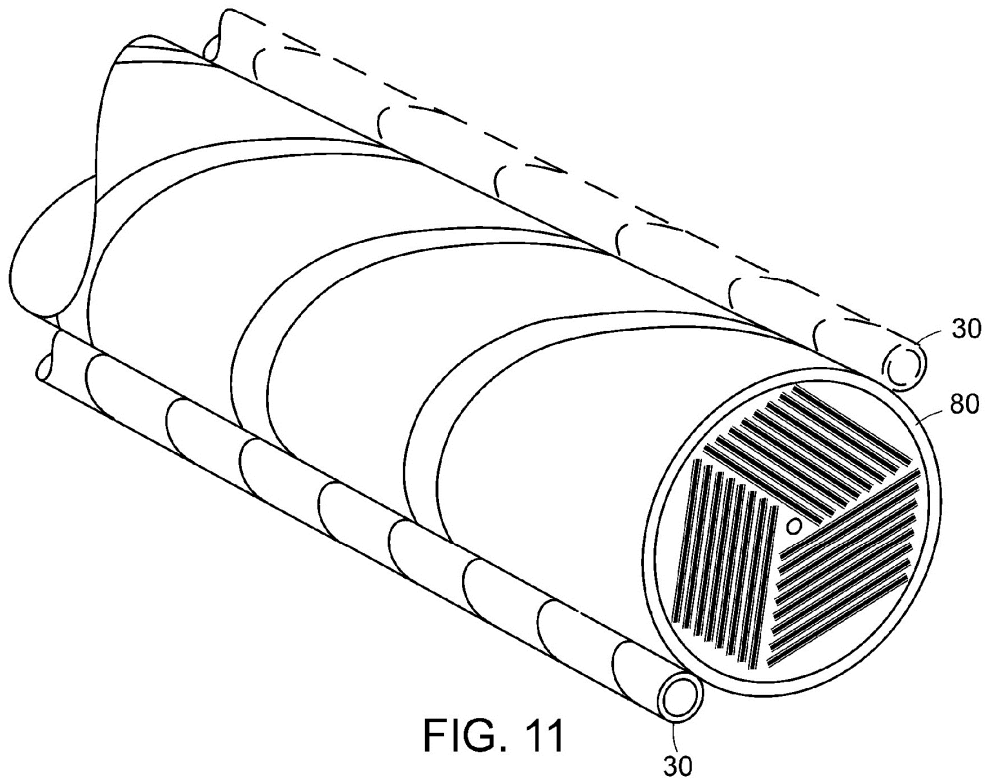
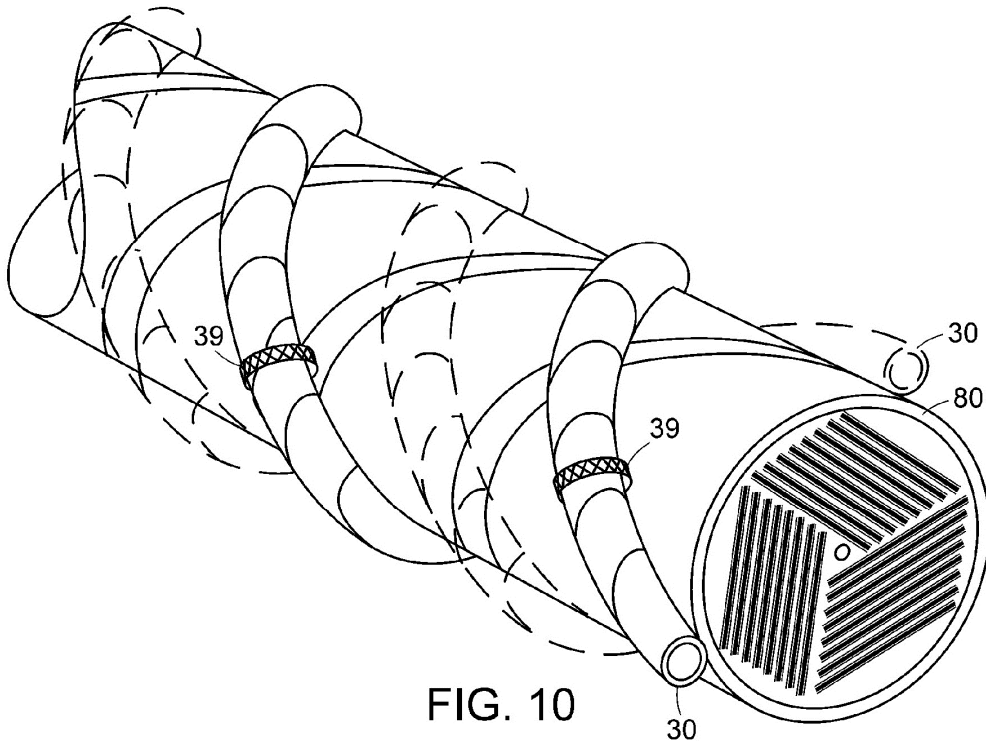


FIG. 8





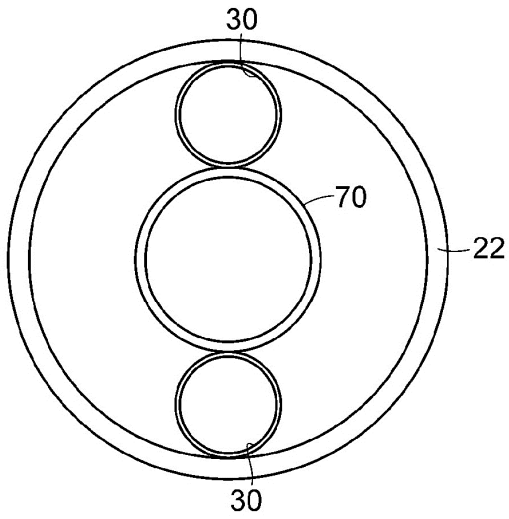


FIG. 12

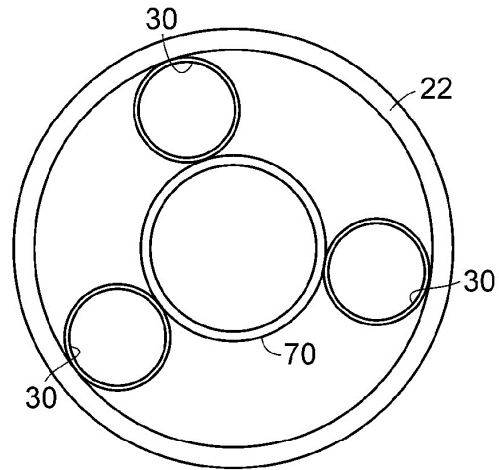


FIG. 13

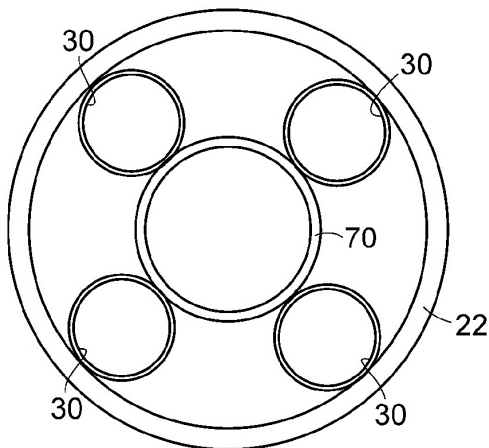


FIG. 14

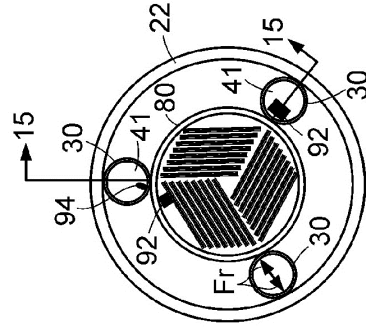


FIG. 15A

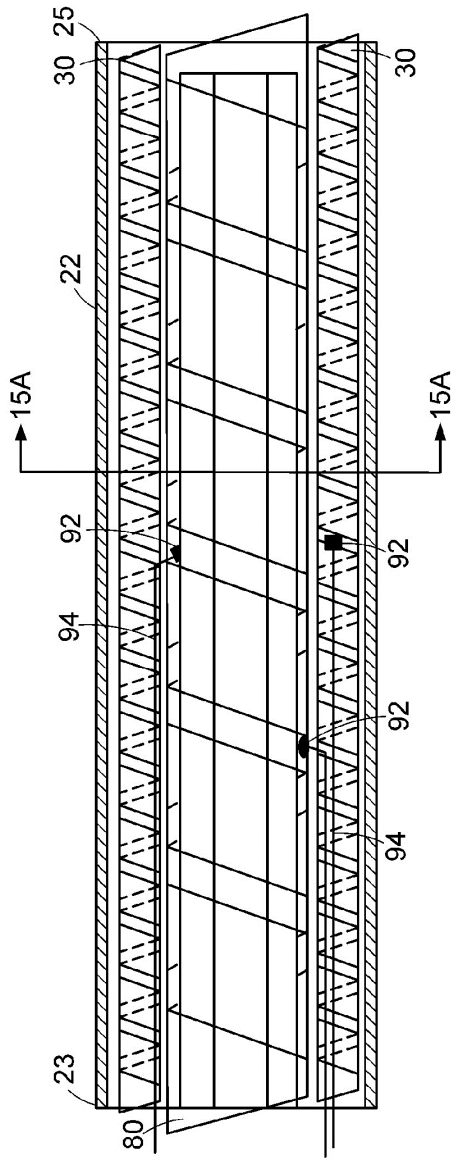


FIG. 15