

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 842**

51 Int. Cl.:

B63G 9/06 (2006.01)

H01F 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2007** **E 07810686 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2013** **EP 2050104**

54 Título: **Conductores flexibles compactos, de gran amperaje, que contienen cintas superconductoras de alta temperatura**

30 Prioridad:

21.07.2006 US 832716 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.04.2013

73 Titular/es:

**AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION
(100.0%)
TWO TECHNOLOGY DRIVE
WESTBOROUGH, MA 01581-1727, US**

72 Inventor/es:

**OTTO, ALEXANDER;
MASON, RALPH P.;
MAGUIRE, JAMES F. y
YUAN, JIE**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 399 842 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

Conductores flexibles compactos, de gran amperaje, que contienen cintas superconductoras de alta temperatura.

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 La presente solicitud reivindica el beneficio de la fecha de presentación de la Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº 60/832.716, presentada el 21 de julio 2006.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a conductores flexibles de gran capacidad de amperaje. Más particularmente, la presente invención se refiere a conductores flexibles de gran capacidad de amperaje que contienen materiales superconductores de alta temperatura.

10 Antecedentes de la invención

Se están buscando en numerosas aplicaciones conductores ligeros que puedan transmitir grandes cantidades de corriente eléctrica sin pérdidas significativas. Por ejemplo, en muchas aplicaciones de afinado electrolítico (por ejemplo, procesos de producción de aluminio), se requieren grandes cantidades de corriente. Otras aplicaciones que requieren conductores de gran amperaje, ligeros, incluyen buques de guerra. Los buques se equipan actualmente con un complejo sistema de cables enrollados (llamados cables para desimanación) para reducir el campo magnético generado en el cuerpo de la nave que se construye normalmente de materiales ferromagnéticos. Esto permite a los buques evadir las minas magnéticas que estallan al detectar un cambio en el campo magnético. Para adaptarse a los requerimientos de gran amperaje en los ejemplos de aplicaciones descritos anteriormente, se utilizan generalmente hilos conductores de gran diámetro, normalmente fabricados de cobre o aluminio. Sin embargo, esto lleva indeseablemente a cables rígidos, pesados y voluminosos. Todavía no se han obtenido cables de peso reducido y flexibilidad aumentada que puedan transportar grandes cantidades de corriente eléctrica sin pérdidas significativas.

El documento EP1039483 describe un hilo conductor formado a partir de una multitud de unidades, cada una compuesta de superconductores a modo de cinta laminados aproximadamente en forma de rombo, dispuestos para formar de manera conjunta un hexágono.

El documento US 5.426.408 describe un módulo magnético superconductor que comprende una serie alterna de un primer y un segundo módulos magnéticos superconductores a tope y alineados coaxialmente.

Compendio de la invención

30 La presente invención según las características de la reivindicación 1 se dirige generalmente a cables superconductores de alta temperatura (HTS, high-temperature superconducting) y a métodos para fabricarlos. Según ciertas realizaciones de la presente invención, el cable de HTS ofrece mayor flexibilidad, peso reducido y capacidad de transporte de gran amperaje, lo que ofrece ventajas significativas sobre los de la técnica anterior.

35 Según ciertas realizaciones de la presente invención, un cable de HTS puede incluir una multitud de cintas de superconductores de alta temperatura (HTS) apiladas básicamente coplanarias a un plano formado por la anchura y la longitud de cintas de HTS individuales para formar un pila de HTS, en la que una cinta de HTS individual de la pila de HTS se desplaza una distancia en la dirección de la anchura desde una segunda cinta de HTS situada por encima de la cinta de HTS individual en la pila de HTS. Además, se puede disponer una multitud de pilas de HTS para formar una superestructura que se trenza sobre el eje del cable.

40 Métodos para fabricar cables de HTS se describen también en el presente documento. Según ciertas realizaciones de la presente invención, el método puede incluir la disposición de una multitud de cintas de superconductores de alta temperatura (HTS) básicamente coplanarias a un plano formado por la anchura y la longitud de cintas de HTS individuales para formar un pila de HTS, en la que una cinta de HTS individual de la pila de HTS se desplaza una distancia en la dirección de la anchura desde una segunda cinta de HTS situada por encima de la cinta de HTS individual en la pila de HTS. Además, el método puede incluir la disposición de una multitud de pilas de HTS en una superestructura y trenzar la superestructura sobre el eje del cable.

45 Según ciertas realizaciones de la presente invención, también se describen cables empleados para generar campos magnéticos, tales como un cable para desimanación. El cable generador de campo magnético puede incluir al menos un cable que tiene una multitud de pilas de superconductores de alta temperatura (HTS) dispuestas para formar una superestructura, dichas pilas de HTS comprenden una multitud de cintas de HTS básicamente coplanarias a un plano formado por la anchura y la longitud de cintas de HTS individuales para formar un pila de HTS, en la que una cinta de HTS individual de la pila de HTS se desplaza una distancia en la dirección de la anchura desde una cinta de HTS situada por encima de la cinta de HTS individual en la pila de HTS, en donde al menos un extremo de la multitud de cintas de HTS se conecta en serie con un extremo de otra cinta de HTS situada en una cualquiera de la multitud de pilas de HTS.

Según ciertas realizaciones de la presente invención, el cable generador de campo magnético de la presente invención puede utilizarse en un sistema para desimanación. El sistema para desimanación puede incluir, además del cable generador de campo magnético de la presente invención, un sistema de refrigeración para mantener las cintas de HTS en un estado de superconducción y una fuente de alimentación para proporcionar una corriente controlada a las cintas de HTS.

Descripción breve de los dibujos

Los anteriores y otros objetivos y ventajas de la presente invención serán evidentes tras la consideración de la siguiente descripción detallada, tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en donde los caracteres de referencia iguales se refieren completamente a partes similares y en los que:

Las **FIGS. 1A, 1B y 1C** son diagramas esquemáticos de algunos tipos de ejemplos de cintas de HTS que se pueden utilizar en cables de HTS según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 2** es un diagrama esquemático que muestra el montaje de cintas de HTS en forma de pilas romboidales según ciertas realizaciones de la presente invención;

Las **FIGS. 3A a 3E** son diagramas esquemáticos de algunas ejemplos de formas de montaje de las pilas romboidales de cables de HTS según ciertas realizaciones de la presente invención;

Las **FIGS. 4A y 4B** muestran diferentes realizaciones de un cable empleado para generar campos magnéticos que utiliza los cables de HTS según ciertas realizaciones de la presente invención;

Las **FIGS. 4C y 4D** muestran diferentes realizaciones de cómo los extremos de las cintas de HTS pueden conectarse para formar un cable generador de campo magnético según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 4E** muestra un limitador de flujo según ciertas realizaciones de la presente invención;

Las **FIGS. 5A y 5B** muestran imágenes de un cable de HTS que se fabricó según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 6** muestra los resultados de la corriente crítica en función del radio de curvatura del cable de HTS según ciertas realizaciones de la presente invención;

Las **FIGS. 7A y 7B** muestran imágenes de un cable generador de campo magnético que tiene dos cables de HTS y un separador opcional situado en el interior de un criostato según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 7C** muestra un esquema de un cable generador de campo magnético que tiene un solo cable de HTS en el interior de un criostato de pequeño diámetro, con un separador opcional;

La **FIG. 8** muestra la corriente que fluye a través de cintas de HTS en función de la tensión a 75 K para obtener una corriente crítica de las cintas de HTS según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 9** muestra la corriente crítica de cintas de HTS en un cable generador de campo magnético medida y extrapolada en función de la temperatura según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 10** muestra las caídas de tensión de diferentes bucles de HTS y cables de corriente que se producen a través de un cable generador de campo magnético cuando se suministran aproximadamente 105 A de corriente a una temperatura media de funcionamiento de aproximadamente 40 K según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 11** muestra el tiempo que se necesita para enfriar unos 40 metros de cable generador de campo magnético desde la temperatura ambiente a aproximadamente 40 K según ciertas realizaciones de la presente invención;

La **FIG. 12** muestra la diferencia de temperatura en diferentes lugares de un cable generador de campo magnético a diferentes temperaturas de funcionamiento según ciertas realizaciones de la presente invención; y

La **FIG. 13** muestra la estabilidad de un cable generador de campo magnético cuando una corriente alterna, mantenida en un estado de corriente positiva, se aplica al cable generador de campo magnético según ciertas realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

La presente invención proporciona cables superconductores de alta temperatura (HTS) robustos, flexibles, ligeros y compactos. En ciertas realizaciones, los cables de HTS de la presente invención se pueden fabricar mediante el montaje de cierto número de cintas de HTS en las configuraciones deseadas.

Como se usa en la presente memoria, "cable" se refiere a una multitud de cintas de HTS dispuestas o montadas para formar un conjunto multi-cinta flexible. Un cable incluye una única pila de HTS dispuesta como se describe en la presente memoria o una multitud de pilas de HTS dispuestas para formar una superestructura.

Como se usa en la presente memoria, superconductor de alta temperatura se refiere a materiales que pueden mantener su comportamiento de superconductores a temperaturas de 20 K y mayores (es decir, temperatura crítica, T_c $\geq$ 20 K). Por ejemplo, los superconductores de alta temperatura mantienen su comportamiento superconductor cuando el nitrógeno líquido a aproximadamente 1 atmósfera de presión se utiliza como refrigerante (es decir, aproximadamente 77 K). Los materiales superconductores también presentan una corriente crítica, I_c , que es la corriente por debajo de la cual el material mantiene su comportamiento superconductor. Ejemplos de superconductores de alta temperatura incluyen superconductores de óxido de cobre, tales como óxido de cobre calcio bismuto estroncio (BSCCO) y superconductores de tipo óxido de cobre itrio bario (YBCO) y otros como el diboruro de magnesio (MgB_2).

En ciertas realizaciones, las cintas de HTS se pueden preparar utilizando métodos convencionales bien conocidos, por ejemplo, tal como se describe en la Publicación de Patente de EE.UU. N° 2003/0062659, que se incorpora en el presente documento en su totalidad por referencia. Por ejemplo, las cintas de HTS, tales como las cintas de BSCCO, se pueden preparar cargando granallas (ya sea un precursor o las propias granallas de HTS) en un tubo metálico (normalmente de plata), trefilando el tubo en un hilo conductor de dimensiones más pequeñas, volviendo a empaquetar el hilo conductor en otro tubo metálico con otros hilos conductores, trefilando el tubo reempaquetado y repitiendo la etapa de reempaquetado y trefilado hasta que al menos una dimensión del filamento estirado hacia abajo ha obtenido una dimensión deseada. A continuación, se puede utilizar un laminador para aplanar el filamento en forma de cinta mediante el paso del filamento entre un par de cilindros de metal de alta resistencia en contra-rotación. Posteriormente, se puede llevar a cabo una etapa de tratamiento térmico para formar la cinta de HTS deseada.

En otras realizaciones, las cintas de HTS se pueden preparar como se describe utilizando métodos conocidos, por ejemplo, tales como los descritos en la Publicación de la Patente de EE.UU. N° 2005/0159298, la Publicación de la Patente de EE.UU. N° 2006/0040830 y la Publicación de la Patente de EE.UU. N° 2006/0073979, que se incorporan en este documento en su totalidad por referencia. Por ejemplo, las cintas de HTS, tales como las cintas de YBCO, se pueden preparar mediante las acciones de preparar un sustrato flexible de metal o de aleación metálica que tenga una textura deseada, depositar una capa tampón sobre el sustrato, depositar un material precursor de YBCO encima de la capa tampón, tratar térmicamente el material precursor para formar el material HTS de YBCO y depositar un recubrimiento de metal noble encima del material de YBCO.

Se pueden utilizar varios tipos diferentes de cintas de HTS para producir los cables de HTS de la presente invención. Se muestran algunos ejemplos de estructuras de cinta de HTS en la **FIG. 1**. Por ejemplo, las cintas de HTS descritas anteriormente se pueden ilustrar esquemáticamente como la cinta de HTS **100** como se muestra en la **FIG. 1A**. La cinta de HTS **100** mostrada en la **FIG. 1A** puede además chaparse o revestirse con un metal o capa de aislante **102** con el fin de mejorar las propiedades mecánicas, así como proporcionar estabilidad ambiental y térmica. Los espesores típicos de las capas de metal son de hasta aproximadamente 1/2 del espesor de la cinta y los metales pueden incluir, por ejemplo, cobre, plata, níquel o aleaciones como cobre-zinc o cobre-níquel como se muestra en la **FIG. 1B**. Alternativamente, las cintas de HTS **100** mostradas en la **FIG. 1A** se pueden proporcionar con soldadura **104** alrededor de la cinta de HTS **100** y proveerse además con tiras de refuerzo **106** en cada lado de la cinta de HTS **100** como se muestra en la **FIG. 1C**. Por ejemplo, las tiras de refuerzo **106** pueden incluir metales como el acero inoxidable, cobre y aleaciones de cobre como latón o metal de Monel, molibdeno y similares. Se pueden unir tiras de refuerzo **106** a las cintas de HTS **100** (con o sin capa de metal **102**) utilizando cualquier método convencional o conveniente. Un ejemplo de método incluye unir la tira a la cinta de HTS **100** con soldadura **104**, por ejemplo, mediante el paso de la cinta de HTS **100** y la tira de refuerzo **106** a través de un baño de soldadura y presionando las piezas cubiertas de soldadura juntas. Se pueden usar cintas de HTS que tienen varias dimensiones. Sin embargo, las cintas típicas de HTS antes del refuerzo tienen una anchura de aproximadamente 3 a 5 mm y un espesor de aproximadamente 0,13 a 0,27 mm. Después del refuerzo, las cintas de HTS típicamente tienen una anchura de aproximadamente 3 a 5,5 mm y un espesor de aproximadamente 0,19 a 0,7 mm. Tal como se utiliza en el presente documento, el término cintas de HTS se pretende que abarque cualquiera de las cintas de HTS adecuadas.

Como se muestra en la **FIG. 2**, se puede apilar y ensamblar un número apropiado de cintas de HTS para formar un cable según ciertas realizaciones de la presente invención. Por ejemplo, cualquier número de cintas de HTS **200** (5, 10, 25, 50, etc.) se pueden apilar para formar una pila de HTS. A modo de ejemplo, las cintas de HTS pueden disponerse para formar una pila paralelogramo o una pila romboidal. Como se usa en la presente memoria, una pila romboidal significa una pila que contiene cintas de HTS donde la pila tiene una forma de sección transversal que es básicamente romboidal, y una pila paralelogramo significa una pila que contiene cintas de HTS en la que la pila tiene una forma de sección transversal que básicamente forma un paralelogramo. Por ejemplo, los bordes de la sección transversal romboédrica pueden ser aproximadamente iguales en longitud entre sí, los bordes opuestos pueden ser aproximadamente paralelos entre sí y los ángulos formados por los bordes no tienen que ser perpendiculares entre sí. La **FIG. 2** es una vista en sección transversal de cintas de HTS **200** montadas, que ilustra una disposición de apilamiento que resulta en una sección transversal básicamente romboédrica, es decir, una "pila romboidal." Como

se usa en la presente memoria, una sección transversal básicamente romboédrica se refiere a un cuadrilátero en el que los cuatro lados son básicamente iguales en longitud (por ejemplo, pueden aceptarse diferencias en la longitud que van desde 0% a 20%) y ninguno de los cuatro ángulos interiores del rombo es de 90° (por ejemplo, dos ángulos interiores de 45° y dos de 135°, dos ángulos interiores de 60° y dos de 120°, dos ángulos interiores de 62° y dos de 118°, etc.) Las cintas de HTS **200** opcionalmente pueden apilarse con un material compatible **202** colocado entre dos cintas de HTS **200** adyacentes. El material compatible **202** puede ser un conductor, un semiconductor o un aislante. Cada pila romboidal puede contener un número total N de cintas **200** de HTS, donde N se define como

$$N = \frac{W}{T} \sin q, \text{ y } W \text{ es la anchura de la cinta de HTS, } q \text{ es el ángulo de inclinación de la sección transversal}$$

romboidal (por ejemplo, $q \sim 60^\circ$) y T es el espesor de la cinta de HTS. Nótese, que el espesor (T) de la cinta de HTS puede incluir el espesor de la capa de metal **102**, la soldadura **104**, la tira de refuerzo **106** y/o el material compatible **202** que rodea la cinta **200** de HTS. La pila romboidal puede entonces mantenerse unida mediante cualesquiera medios **204** adecuados, tales como la envoltura helicoidal o cilíndrica de la pila **200** romboidal con polímero, papel, tiras de láminas metálicas y/o similares. En ciertas realizaciones, la cinta **200** de HTS puede además cubrirse, recubrirse y/o envolverse con material aislante tal como películas de poliamida (KAPTON), fluoropolímeros (TEFLON), barniz de recubrimiento, laca, esmalte, metacrilatos (polimetilmetacrilato), epoxis (epoxi curable por UV) y similares. En otras realizaciones, la cinta de HTS puede cubrirse, recubrirse y/o envolverse con un material semiconductor tal como papel impregnado de grafito, película de polímero impregnado de grafito, películas de polímero conductor (películas de politiofeno), aleaciones metálicas de baja conductividad, películas intermetálicas y similares.

En ciertas realizaciones, la pila romboidal además se puede montar en forma de superestructuras, tales como una estructura hexagonal. Como se usa en la presente memoria, una superestructura se refiere a una estructura que se forma mediante el montaje conjunto de las pilas de HTS. Por ejemplo, una estructura hexagonal se refiere a una multitud de pilas de HTS (por ejemplo, pilas romboidales) montadas para formar un cable que tiene una geometría de sección transversal de forma básicamente hexagonal. El montaje puede incluir, por ejemplo, tres pilas romboidales (pila H1; ver **FIG. 3A**), 12 pilas romboidales (pila H2; ver **FIG. 3B**), 27 pilas romboidales (pila H3), 48 pilas romboidales (pila H4) y similares, pudiendo seleccionarse el número preciso de pilas romboidales para formar un conjunto que proporcione una geometría hexagonal circunferencial.

En ciertas realizaciones, las pilas romboidales se pueden disponer en forma de superestructuras de manera que las cintas de HTS son casi paralelas (tanto como sea posible) al perímetro circular barrido más cercano de la superestructura hexagonal. La estructura hexagonal puede mantenerse en su sitio mediante cualesquiera medios adecuados. Un método preferido es envolver con, por ejemplo, una cinta de polímero o con una hélice preformada. La envoltura puede proporcionar una compresión suficiente para mantener la integridad del conjunto sin ejercer demasiada presión para dañar o restringir su movimiento y flexibilidad.

Cabe señalar que la pila en forma romboidal se llena fácilmente con cintas de HTS de anchura y espesor básicamente similares hasta un alto factor de llenado, que pueden entonces disponerse para formar una superestructura hexagonal con una alta fracción de relleno de cinta de HTS en su sección transversal. Esto reduce el radio efectivo del conductor, aumentando su densidad de corriente y la tolerancia de curvado.

En ciertas realizaciones, la superestructura puede formarse utilizando una superestructura inicial **308** que ayuda en la formación de las superestructuras de pilas romboidales como se muestra en la **FIG. 3C**. Por ejemplo, una superestructura inicial adecuada puede ser un posicionador alargado con un eje central y tres costillas que se proyectan desde el eje central espaciadas 120 grados unas de otras, que promueve que las superestructuras se mantengan en su sitio antes de envolverse o revestirse.

En ciertas realizaciones, como se muestra en la **FIG. 3A**, las cintas de HTS **300** individuales se agrupan (con material **202** compatible intercalado opcional no mostrado) para formar una pila **302** romboidal, y tres pilas romboidales **302** pueden montarse juntas para formar una estructura hexagonal de pila H1 **304**. La pila H1 **304** puede mantenerse unida mediante cualesquiera medios adecuados **306**, tales como una envoltura helicoidal o cilíndrica con hilo aislante, cinta aislante, láminas metálicas, conducto helicoidal de plástico cortado y similares.

En otras realizaciones, pueden unirse múltiples pilas romboidales **302** para formar estructuras más grandes. Como se muestra en la **FIG. 3B**, pueden montarse conjuntamente 12 pilas romboidales **302** para formar una estructura más grande hexagonal (pila H2 **308**). En estas estructuras de pila H2, el centro de 3 pilas romboidales se puede envolver primero, seguido del montaje y la envoltura de la siguiente capa en la parte superior para formar la pila H2 **308**. Alternativamente, el conjunto completo puede montarse y envolverse en una sola pasada. Tal disposición puede dar lugar a aumentar aproximadamente 3 a 4 veces la capacidad de corriente de los cables de HTS. Cabe señalar que la capacidad de corriente de los cables de HTS puede aumentarse por otros métodos. Por ejemplo, la corriente crítica (I_c) para cada cinta de HTS puede aumentarse, por ejemplo, disminuyendo la temperatura. Además, el área de la sección transversal de cada cinta de HTS puede aumentarse para aumentar la corriente del cable de HTS. Otra disposición adecuada adaptada al criterio de diseño específico será fácilmente evidente para un experto habitual en la técnica. Las cintas de HTS individuales, así como los elementos romboidales que comprende un cable pueden marcarse de forma única mediante, por ejemplo, el uso de material de envoltura de diferente color o

mediante patrones. En ciertos casos, un único marcado de este tipo puede permitir una identificación sencilla de las cintas cuando se hacen conexiones extremo a extremo.

Tras la formación de una estructura hexagonal adecuado como se describe anteriormente, la estructura hexagonal completa puede girarse alrededor del eje del cable, es decir, un eje que es perpendicular al plano de la estructura de la sección transversal hexagonal, para obtener un cable de HTS que tiene una vuelta a lo largo del propio eje del cable. La vuelta puede impartirse de manera que el paso está en un modo de espiral continua o en un modo oscilante. Por ejemplo, en el modo de espiral, el cable puede retorcerse en una dirección alrededor de su eje a lo largo de la longitud del cable. En el modo oscilante, el cable puede retorcerse primero localmente en una dirección alrededor de su eje hasta, por ejemplo, una rotación completa de 360°. Entonces, puede retorcerse una región adyacente en la dirección inversa alrededor de su eje hasta, por ejemplo, una rotación completa de 360°. Tal cambio en la dirección de la vuelta se puede continuar hacia atrás y adelante a lo largo de la longitud del cable. Enfoques adecuados que pueden proporcionar ventajas para una fabricación simple, serán fácilmente evidentes para un experto habitual en la técnica. En ciertas realizaciones, la estructura hexagonal se puede "sobrevoltar" para tener en cuenta el efecto de recuperación elástica del material. Por ejemplo, si se desea un paso de vuelta de 1 vuelta por metro, la estructura hexagonal puede ser retorcida para tener inicialmente 1 vuelta por 1 metro, 1,5 vueltas por 1 metro, 2 vueltas por 1 metro, 3 vueltas por 1 metro, 5 vueltas por 1 metro, 7 vueltas por 1 metro, 10 vueltas por 1 metro y similares. Este exceso de vueltas puede permitir al cable de HTS relajarse al valor objetivo del paso de torsión (por ejemplo, una vuelta por paso de 1 metro).

Aunque no se desea estar limitado por la teoría, impartir una vuelta a lo largo del eje del cable de HTS puede proporcionar los siguientes beneficios. En primer lugar, la vuelta puede impartir una flexibilidad mejorada al cable de HTS debido a la reducción de las fuerzas de flexión requeridas. En segundo lugar, la vuelta puede impartir tolerancia de curvatura mejorada para diámetros más pequeños antes de dañar el cable de HTS (medida por la degradación I_c), debido a la compensación de tensión local que tiene lugar. En tercer lugar, la vuelta puede impartir pérdida de potencia reducida para el cable de HTS cuando opera en un modo de campo de CA o en rampa, especialmente si se combina con una capa semiconductor de separación o con aislante entre cada una de las cintas de HTS.

Aunque la presente invención se ha descrito anteriormente en relación con las pilas romboidales y con las superestructuras hexagonales, hay que señalar que la presente invención no se limita a las pilas romboidales y/o las superestructuras hexagonales. Se puede elegir cualquier forma adecuada de las pilas y/o de las superestructuras. Por ejemplo, se debe entender que también quedan abarcadas por la presente invención las pilas en la forma de un paralelogramo, trapecio, triángulo y similares, como será fácilmente evidente para un experto habitual en la técnica. Además, cualquier superestructura adecuada, tal como una superestructura paralelogramo (por ejemplo, dos pilas romboidales montadas una al lado de otra), una superestructura rombo (por ejemplo, cuatro pilas romboidales ensamblan conjuntamente) y similares, puede abarcarse mediante la presente invención. En ciertas realizaciones, se puede formar una superestructura que tiene una simetría de espejo triple. Una de las estructuras hexagonales descritas es un ejemplo de una superestructura que tiene una simetría de espejo triple. Sin embargo, otras superestructuras que tienen una simetría de espejo triple también están abarcadas por la presente invención. Por ejemplo, la **FIG. 3D** muestra una estructura que tiene una simetría de espejo triple sobre las tres líneas de puntos **m1** a **m3**, que es una estructura hexagonal con tres de las pilas romboidales eliminadas. Serán fácilmente evidentes para un experto habitual en la técnica varias superestructuras diferentes que tienen una simetría de espejo triple.

En ciertas realizaciones, las formas de las pilas y las superestructuras pueden elegirse para obtener simplicidad de fabricación, alto grado de ocupación de la sección transversal por la cinta de HTS que resulta en una densidad de corriente alta, la reducción del diámetro efectivo de la superestructura y una tolerancia a la curvatura del conjunto mejorada.

En ciertas realizaciones, las pilas pueden alinearse para maximizar las regiones donde las porciones de área superficial grande de las cintas de HTS son casi paralelas al perímetro total de barrido del cable de HTS para minimizar la componente de campo magnético perpendicular del cable que actúa sobre cada cinta de HTS. Sin desear estar limitado por la teoría, la componente de campo magnético perpendicular puede disminuir más la corriente crítica que la componente del campo magnético paralelo. Por lo tanto, la configuración en la que las porciones de área superficial de las cintas de HTS son casi paralelas al perímetro total de barrido del cable de HTS puede ser más beneficiosa.

Por ejemplo, las pilas de sección transversal paralelogramo **310** pueden utilizarse para formar una superestructura triangular como se muestra en la **FIG. 3E**. Como se muestra, las pilas de paralelogramo pueden formarse con el borde inclinado de la pila siendo algo más pequeño que su anchura en la base. Tres de estas pilas de paralelogramo pueden formarse entonces en una superestructura triangular **312** utilizando, por ejemplo, una superestructura inicial **314** que es de forma triangular como se muestra en la **FIG. 3E**. Sin embargo, pueden utilizarse cualesquiera superestructuras iniciales **314** adecuadas, tales como una superestructura inicial **314** que tiene una sección transversal redonda o poligonal.

Aplicaciones

Los cables de HTS de la presente invención pueden utilizarse en varias aplicaciones diferentes. Por ejemplo, los cables de HTS de la presente invención pueden utilizarse en la transmisión de energía eléctrica de alto amperaje o en aplicaciones de distribución. Los cables de HTS pueden emplearse para transmitir energía eléctrica de un lugar a otro como cables de conexión o de extensión externa o internamente aislados. Los cables de HTS también pueden emplearse como parte de una red transmisión o de una red de distribución de energía eléctrica, operada en los modos de CA o CC. El cable de HTS también puede emplearse para transmitir energía eléctrica en electrorrefinerías (tales como una planta de producción de aluminio) donde se necesita gran cantidad de corriente CC para fundir alúmina en aluminio, o electrorrefinar (purificar) cobre o zinc. En estas aplicaciones, las corrientes normalmente pueden oscilar de varios miles de amperios en cables flexibles conectados a, por ejemplo, electrodos, a tan altas como varios cientos de miles de amperios en aplicaciones de barras colectoras (flexibles) primarias.

En este tipo de aplicaciones que llevan corriente, el cable de HTS puede conectar dos o más terminales diferentes (es decir, cables de entrada de corriente y cables de salida corriente). En tal configuración, la corriente de carga puede maximizarse u optimizarse mediante la conexión de las cintas de HTS del cable de HTS en paralelo entre sí entre los dos o más terminales diferentes. Además, cables de HTS adicionales se pueden conectar en paralelo si es necesario. Los cables de HTS puede colocarse en un material aislante y un criostato adecuados para mantener el cable de HTS en un estado superconductor mediante enfriamiento. Puede utilizarse gas de helio refrigerado, nitrógeno o neón líquidos para enfriar el cable HTS. Los terminales conectados mediante los cables de HTS pueden además diseñarse para minimizar la cantidad de resistencia de contacto entre el terminal y el cable de HTS. Además, los terminales también pueden diseñarse para minimizar la transferencia térmica en el criostato.

Los cables de HTS de la presente invención pueden utilizarse también como electroimanes ligeros, de gran campo y de gran superficie, tales como un cable para desimanación. En tales aplicaciones, los cables que generan los campos magnéticos con diámetros demasiado grandes para montarse en la práctica y enviarse en forma rígida se pueden fabricar en el sitio mediante el encamisado del cable de HTS de la presente invención en un criostato flexible y el cableado de las cintas de HTS individuales en serie con las cintas de HTS próximas para formar un "carrete" bobinado. Como se usa en la presente memoria, un cinta de HTS próxima puede referirse a cualesquiera cintas de HTS que se conectan en serie. Por ejemplo, cintas de HTS próximas puede referirse a sucesivas cintas de HTS contenidas en una pila. Sin embargo, la HTS próxima también puede referirse a cintas de HTS contenidas en pilas diferentes, en diferentes superestructuras, o incluso en diferentes cables de HTS, siempre y cuando los extremos se puedan conectar en serie entre sí. Los conductores de corriente (es decir, terminales) dentro y fuera del criostato puede conectarse a un primer extremo de la primera cinta de HTS y al segundo extremo de la última cinta de HTS. De esta manera, se pueden hacer fácilmente unos imanes de gran campo de casi cualquier forma grande y rodear casi todos los objetos naturales o de origen humano.

Además, las inductancias de estos imanes de gran tamaño se puede ajustar fácilmente mediante la selección de una relación apropiada de cintas de HTS conectadas en serie frente a cintas de HTS conectadas en paralelo en el bucle. Si el imán necesita mantenimiento o retirarse, los extremos conectados de las cintas de HTS pueden separarse y la de cable de HTS flexible, contenido en el criostato, puede enrollarse en un paquete relativamente pequeño que puede transportarse fácilmente y volverse a montar en la nueva ubicación.

Las **FIGS. 4A** y **4B** muestran diferentes realizaciones de cómo utilizar el cable de HTS para generar un campo magnético, donde la **FIG. 4B** representa un diseño más compacto. Como se muestra, pueden contenerse uno o más cables **400** de HTS en un criostato flexible **404** (sólo se muestra una parte del criostato **404**) en el que los extremos de las cintas de HTS **402** se conectan en serie, opcionalmente en una caja **410** de conexiones. Opcionalmente, el criostato **404** puede contener un separador **706** (ver **FIGS. 7A a 7C**) para reducir el movimiento del cable de HTS **400** en el criostato **404**. Una unidad de refrigeración **406** puede enfriar un líquido o un gas adecuado (por ejemplo, gas de helio refrigerado o nitrógeno líquido refrigerado) y una bomba **408** puede suministrar el gas o el líquido refrigerado **412** al criostato **404** para mantener la cintas de HTS **402** en un estado superconductor (véase también las **FIGS. 7A a 7C**). Con el fin de evitar que el gas helio enfriado se derive entre la entrada y la salida del criostato, puede colocarse un estrangulador de flujo **413** en el cable de HTS **400**.

Como se muestra en la **FIG. 4A**, la unidad de refrigeración **406** y la bomba **408** puede realizarse como componentes separados. Para un diseño más compacto, la unidad de refrigeración **406**, la bomba **408** y la caja de conexiones **410** pueden integrarse como un componente único en el que la unidad proporciona la función simultánea de refrigerar y proporcionar un refrigerante adecuado al criostato **404** (véase la **FIG. 4B**). En ciertas realizaciones, la caja de conexiones **410** puede diseñarse como un contenedor deslizante como se muestra en la **FIG. 4B**. Sistemas de refrigeración adecuados, que incluyen la unidad de refrigeración **406**, la bomba **408** y el criostato **404** descritos anteriormente, se describen más completamente en las patentes de EE.UU. N^{os}. 6.347.522 y 6.625.992, ambas de las cuales se incorporan en la presente memoria por referencia en su totalidad. Detalles adicionales con respecto a los sistemas de refrigeración de las Patentes de EE.UU. N^{os}. 6.347.522 y 6.625.992 también pueden encontrarse en las Patentes de EE.UU. N^{os}. 5.482.919, 6.023.934 y 6.173.577, todas las cuales se incorporan en la presente memoria por referencia en su totalidad.

La **FIG. 4C** muestra además una vista ampliada de los extremos de las cintas de HTS **402** en la caja de conexiones **410**. Como se muestra, cada uno de los extremos individuales de las cintas de HTS **402A** a **402N** se conectan en serie entre sí. Por ejemplo, las cintas de HTS pueden conectarse en serie de manera que el segundo extremo de la primera cinta de HTS **402A2** se conecta al primer extremo de la segunda cinta de HTS **402B1**, el segundo extremo de la segunda cinta de HTS **402B2** se conecta al primer extremo de la tercera cinta de HTS **402C1**, el segundo extremo de la tercera cinta de HTS **402C2** se conecta al primer extremo de la cuarta cinta de HTS **402D1**, y así sucesivamente hasta que el segundo extremo del (N-1)-ésimo cable **402(N-1)2** se conecta al primer extremo del N-ésimo cable **402N1**, en el que el cable que genera el campo magnético contiene al menos un número N de bucles o vueltas de las cintas de HTS. Cabe señalar que el cable que genera el campo magnético puede contener un número mayor de cintas de HTS que el número N de conexiones en serie (es decir, el número N de vueltas o bucles) hechas. El primer extremo del primer HTS **402A1** y el segundo extremo de la N-ésima cinta de HTS **402N2** pueden conectarse a conductores de corriente (es decir, terminales) dentro y fuera de una fuente de alimentación (no mostrado). La conexión de las cintas de HTS en serie como se describe en la presente memoria permite efectivamente la formación de un gran imán de carrete bobinado.

Los extremos de las cintas de HTS pueden conectarse entre sí en cualesquiera medios adecuados. Por ejemplo, los extremos de la cinta de HTS pueden conectarse al soldarlos junto con soldadura de baja resistencia. Alternativamente, los extremos de las cintas de HTS pueden unirse físicamente y engarzarse (presionados juntos) sin fracturar las cintas de HTS. En otra realización, como se muestra en la **FIG. 4D**, puede utilizarse una caja de conexiones **410** en la que se disponen enchufes **414** de contacto a presión (es decir, que actúan en calidad de "tomas hembra") para recibir los extremos de las cintas de HTS **402A2** a **402N1** (es decir, que actúan en calidad de "tomas macho"). Serán fácilmente evidentes para un experto habitual en la técnica otros medios adecuados para formar una conexión entre las cintas de HTS. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, más de un cable de HTS puede conectarse utilizando una caja de conexiones **410**, en donde la caja de conexiones **410** puede contener un número suficiente de enchufes para permitir que puedan conectarse un número de dos, tres, cuatro, etc. cables de HTS.

En ciertas realizaciones, el estrangulador **413** puede diseñarse para controlar el porcentaje de gas de refrigeración que se deriva mediante la variación del hueco entre el diámetro exterior del estrangulador y el diámetro interior del criostato. Como se muestra en la **FIG. 4E**, puede utilizarse un mecanismo de circulación para minimizar cualesquiera secciones "calientes" entre la salida **413a** y la entrada **413b**. Además, el estrangulador **413** también puede permitir el control del flujo del gas de enfriamiento de manera que no se introduce un flujo excesivo entre la entrada **413a** y la salida **413b**. La **FIG. 4E** muestra además una carcasa **413c** del estrangulador, el anillo de sellado exterior **413d**, la tapa de sellado exterior **413e**, el anillo de sellado interior **413f** y la tapa de sellado interior **413g**. El flujo de entrada **413a** también puede dividirse en dos chorros. El primer chorro **413h** puede circular en un recorrido más largo (por ejemplo, alrededor de la longitud del cable de HTS **400**), mientras que el segundo chorro **413i** puede fluir a través de una ruta más corta (por ejemplo, la longitud de la carcasa **413c** del estrangulador). La resistencia al flujo del estrangulador puede determinar la distribución de flujo entre los chorros **413h** y **413i**, que puede controlarse apretando la tapa de sellado interior **413g** y/o la tapa de sellado exterior **413e**.

En ciertas realizaciones, la carcasa **413c** del estrangulador, la tapa de sellado interior **413g** y la tapa de sellado exterior **413e** pueden fabricarse a partir de varios materiales, tales como una tela de fibra de vidrio continuo incrustada en un aglutinante epoxi (por ejemplo, G10). Tanto el anillo de sellado interior **413f** como el anillo de sellado exterior **413d** también pueden fabricarse de diversos materiales tales como fluoropolímeros (por ejemplo, GORE-TEX). El porcentaje de derivación de gas de refrigeración (segundo chorro **413i**) puede controlarse para estar entre el 5% y el 10% del flujo total.

Los cables **413j** de corriente pueden enfriarse por el flujo de gas forzado, como se muestra en la **FIG. 4E**. En esta disposición, el chorro del flujo puede introducirse en la sección inferior de los cables de corriente, que está contenida en un tubo **413K** de pequeño diámetro. El pequeño diámetro del tubo puede utilizarse para mejorar el coeficiente de transferencia de calor entre el chorro de gas (antes de la división en **413h** y **413i**) y los cables de corriente **413j**.

Ejemplos

Ejemplo 1

Se han fabricado varios tipos de cables de HTS diferentes de la presente invención como se muestra en la Tabla 1. En general, los anchos de cinta a base de BSCCO se fabricaron como se muestra en la Tabla 1 a continuación. Las cintas de HTS a base de YBCO se fabricaron en 4 cm de ancho y se cortaron en tamaños más pequeños que varían de aproximadamente 3 mm a 10 mm (por ejemplo, véase el último ejemplo mostrado en la Tabla 1 a continuación), que son comparables a las anchuras de las cintas a base de BSCCO.

Tabla 1: Cables de HTS fabricados a partir de cintas de HTS a base de BSCCO que tienen I_c de aproximadamente 100 a 200 A a 77K y a partir de cintas de HTS a base de YBCO que tienen I_c por anchura de 150 a 500 A/cm a 77K.

Cable de HTS	Cinta de HTS			Número de Cintas ¹	Diámetro externo ² (mm)	Corriente nominal total a 77K
	Tipo	Anchura (mm)	Altura (mm)			
Pila romboidal triple (H1)	Ag-BSCCO	3,8 a 4,5	0,18 a 0,28	20 a 60	8 a 12	1.000 a 8.000
Pila romboidal triple (H1)	Ag-BSCCO con 75 μ m de tiras de laminación	4,0 a 5,0	0,33 a 0,45	15 a 45	9 a 14	800 a 6.000
Pila romboidal triple (H1)	Ag-BSCCO con 25 μ m de tiras de laminación	4,0 a 5,0	0,23 a 0,35	18 a 60	9 a 14	900 a 8.000
Pila romboidal de doce (H2)	Ag-BSCCO con 25 μ m de tiras de laminación	4,0 a 5,0	0,23 a 0,35	70 a 240	17 a 24	3.000 a 30.000
Pila romboidal triple (H1)	YBCO	3,0 a 10	0,15 a 0,35	30 a 180	7 a 22	800 a 60.000
¹ Con 0 a 150 μ m de material de separación						
² Con 0,5 mm de envoltura helicoidal						

Como se muestra en una fotografía de un ejemplo de cable de HTS de la **FIG. 5A**, cada cable de HTS contenía tres pilas romboidales de ocho cintas de HTS cada una para formar una pila H1, cuando se ve a lo largo del eje del cable. La **FIG 5B** muestra las tres pilas romboidales envueltas helicoidalmente con politetrafluoroetileno (TEFLON) cuando se observan perpendicularmente al eje del cable. El cable de HTS se retorció para impartir un paso de vuelta axial final que era de aproximadamente 1 vuelta por metro y se retorció inicialmente a más de una vuelta completa de 360 grados por metro (alrededor de 2,5 vueltas completas por metro) para tener en cuenta un efecto de recuperación elástica.

Las cintas de HTS resultantes utilizadas en los cables de HTS cumplieron sin degradación significativa. Por ejemplo, la I_c de la cinta de HTS con base de Ag-BSCCO antes del montaje era de aproximadamente 120A. La I_c de la cinta de HTS con base de Ag-BSCCO después del montaje fue de aproximadamente 120 A cuando se mide sin corriente fluyendo en las otras cintas de HTS. Cuando se mide con la corriente fluyendo en las otras cintas de HTS, la I_c disminuyó a aproximadamente 80 A, muy probablemente debido al significativamente mayor auto-campo que surgió de las otras cintas de HTS.

También se llevaron a cabo ensayos de flexión en los cables de HTS de pila H1 fabricados a partir de Ag-BSCCO con tiras de laminado de 75 μ m. Se ensayaron tres cables diferentes, codificados por colores como el azul, rojo y verde. Se midieron varias cintas de HTS situadas cerca del borde interior de cada romboide, así como cerca del borde exterior de cada romboide de la estructura hexagonal. Por ejemplo, "azul exterior (blue outside)" se refiere a cintas de HTS con el cable codificado en el color azul que estaban cerca del borde exterior del romboide en la estructura hexagonal. "Rojo interior (red inside)" se refiere a cintas HTS con el cable codificado en el color rojo que estaban cerca del borde interior del romboide en la estructura hexagonal. Como se muestra en la **FIG. 6**, se observó mejor I_c de retención que el 95% a 1,5 metros de diámetro de la curva. Además, alrededor del 80-90% de la I_c de retención se observó a 0,4 metros del radio de curvatura.

Además, se observó por manipulación manual que los cables de HTS eran mucho más flexibles después de la torsión que se imparte a lo largo del eje del cable, lo que requiere significativamente menos fuerza para curvar. Por lo tanto, los cables de HTS eran mucho más fáciles de manejar después de la torsión.

Ejemplo 2

Un cable generador de campo magnético que tiene 39 cintas de HTS conectados en serie entre sí se fabricó como se muestra en las **FIGS. 4A, 4C, 7A y 7B**. Como se muestra en las **FIGS. 7A y 7B**, se instalaron dos cables **702** de HTS de 40 metros de largo y un separador **706** (para minimizar el movimiento de los cables HTS) en un criostato flexible. Cada cable de HTS tenía tres pilas romboidales (para formar una pila H1) y cada pila romboidal tenía nueve cintas de HTS. Por lo tanto, entre las 54 posibles conexiones, se hicieron 39 conexiones en serie para formar 39

vueltas o bucles de cintas de HTS. Los extremos de las cintas de HTS se conectaron en serie mediante soldadura y se bombeó helio refrigerado en el criostato. El cable generador de campo magnético resultante tenía las siguientes características a aproximadamente 40K:

Diámetro exterior del cable de HTS: 66 mm

5 Número de cintas de HTS conectadas en serie (número de bucles o vueltas formado): 39

Amperios Vuelta con CC: 4095 Amperios-vuelta

Corriente aplicada a cada bucle de cinta de HTS: 105 A (= 4095 Amperios-vuelta/39 vueltas)

Radio mínimo de curvatura: 550 mm

Presión de trabajo: 80 psi

10 Inductancia del cable de HTS: 80 mH

La I_c de varias cintas de HTS formadas en los bucles, como se ha descrito anteriormente, se midió a 75K y 85K. La **FIG. 8** muestra una curva de medición I-V obtenida a 75K que muestra un valor de I_c de aproximadamente 85 A. También se determinó el valor de la I_c de las cintas de HTS a 85K de una manera similar. A partir de estos valores experimentales, se extrapoló el valor de la I_c a 40K, asumiendo una relación lineal, para ser de aproximadamente 180 A (véase la **FIG. 9**). Por lo tanto, a partir de la gráfica extrapolada mostrada en la **FIG. 9**, la corriente máxima proyectada a 40K y la temperatura máxima de funcionamiento para alcanzar 4000 Amperios-Vuelta se puede estimar como se muestra a continuación.

Corriente máxima proyectada a 40K: 7020 Amperios-vuelta (= 180 A x 39 vueltas)

Temperatura de funcionamiento máxima a 4000 Amperios-Vuelta: ~ 65K

20 Cabe señalar que antes del montaje en un cable generador de campo magnético, cada una de las cintas de HTS tenía un valor inicial de la I_c de aproximadamente 120 A a 75K en comparación con el valor medido de 85 A a 75K. Parte o la totalidad de esta disminución puede deberse a la supresión de I_c debido al mayor campo magnético del cable, o puede deberse en parte a algún daño a los cables en las conexiones. En cualquier caso, la **FIG. 10** muestra que tal degradación no es probable que sea una preocupación grave durante el funcionamiento, ya que la caída de tensión total a lo largo de los cables de corriente (no abarcando los bucles superconductores) era de aproximadamente 0,1 V (= 0,05 V + 0,05 V, como se muestra en la mano derecha del eje vertical) cuando aproximadamente se suministran 105 A de corriente a una temperatura media de funcionamiento de aproximadamente 40K. En contraste, la caída de tensión total que se midió a través de todos los bucles (mano izquierda del eje vertical) era sólo de $4,58 \times 10^{-3}$ V cuando aproximadamente se suministran 105 A de corriente a una temperatura media de funcionamiento de aproximadamente 40K.

La **FIG. 11** muestra que la totalidad del cable generador de campo magnético se enfrió a aproximadamente 40K en aproximadamente 12 horas. La diferencia de temperatura entre los cables a 0 m y 40 m después de alcanzar la meseta final que se muestra en la **FIG. 11** (es decir, después de aproximadamente 12 horas) fue inferior a 4K (véase la curva "A"). Cuando todo el cable generador de campo magnético se enfrió por debajo de aproximadamente 60K (véase la curva "B") y 80K (véase la curva "C"), la diferencia de temperatura entre los cables a 0 m y 40 m se incrementó ligeramente a aproximadamente 5K y 7K, respectivamente (véase la **FIG. 12**).

Para calcular el calor que puede acumularse durante el funcionamiento, se suministró una corriente alterna sinusoidal (véase el recuadro de la **FIG. 13**) al cable generador de campo magnético y el incremento de temperatura se midió durante aproximadamente 4 horas. Para aproximar el escenario del peor de los casos, la corriente se mantuvo en un intervalo de valores positivos. Como se muestra en la **FIG. 13**, se observó menos de 1K de aumento de la temperatura en todo el cable y la temperatura pareció estabilizarse después de alrededor de 2 a 2,5 horas.

Estos ejemplos demuestran claramente la superioridad de la presente invención sobre la de la técnica anterior. Tras la revisión de la descripción y las realizaciones de la presente invención, los expertos en la técnica entenderán que pueden realizarse modificaciones y sustituciones equivalentes en la ejecución de la invención sin apartarse de la esencia de la invención.

Incorporación por referencia

Los siguientes documentos se incorporan en la presente memoria en su totalidad por referencia: Patente de EE.UU. Nº 5.231.074, expedida el 27 de julio de 1993 y titulada "Preparación de Películas Superconductoras de Óxido Altamente Texturado a partir de Soluciones Precursoras MOD"; Patente de EE.UU. Nº 6.022.832, expedida el 08 de febrero de 2000 y titulada "Proceso de Bajo Vacío para Producir Componentes Superconductores con Capas Epitaxiales"; Patente de EE.UU. Nº 6.027.564, expedida el 22 de febrero de 2000 y titulada "Proceso de Bajo Vacío para Producir Capas Epitaxiales"; patente de EE.UU. Nº 6.190.752, expedida el 20 de febrero de 2001 y titulada "Películas Delgadas que tienen como Estructura Sal Gema Depositada sobre Superficies Amorfas"; Patente de

EE.UU. Nº 6.537.689, expedida el 25 de marzo de 2003 y titulada "Superconductores Multi-Capa que tienen una Capa Tampón con Plano de Terminación Orientado"; Publicación PCT Nº WO 00/58530, publicada el 5 de octubre de 2000 y titulada "Materiales de Aleación"; Publicación PCT Nº WO/58044, publicada el 5 de octubre de 2000 y titulada "Materiales de Aleación"; Publicación PCT Nº WO 99/17307, publicada el 8 de abril de 1999 y titulada

5 "Substratos con Resistencia Mejorada a la Oxidación"; Publicación PCT Nº WO 99/16941, publicada el 8 de abril de 1999 y titulada "Substratos para Superconductores"; Publicación PCT Nº WO 98/58415, publicada el 23 de diciembre de 1998 y titulada "Conversión Controlada de Oxifluoruros Metálicos en Óxidos Superconductores"; Publicación PCT Nº WO 01/11428, publicada el 15 de febrero de 2001 y titulada "Artículos Multicapa y Métodos de Fabricación de los Mismos"; Publicación PCT Nº WO 01/08232, publicada el 1 de febrero de 2001 y titulada

10 "Artículos Multicapa y Métodos de Fabricación de los Mismos"; Publicación PCT Nº WO 01/08235, publicada el 1 de febrero de 2001 y titulada "Métodos y Composiciones para la Fabricación de un Artículo Multicapa"; Publicación PCT Nº WO 01/08236, publicada el 1 de febrero de 2001 y titulada "Precursor de Película Gruesa para Conductores Revestidos"; publicación PCT Nº WO 01/08169, publicada el 1 de febrero de 2001 y titulada "Conductores Revestidos con Pérdidas de CA Reducidas"; Publicación PCT Nº WO 01/15245, publicada el 1 de marzo de 2001 y titulada "Substratos de Aleación de Control Superficial y Métodos de Fabricación de los mismos"; Publicación PCT Nº WO 01/08170, publicada el 1 de febrero de 2001 y titulada "Formación de Capas de Óxido de Pureza Mejorada"; Publicación PCT Nº WO 01/26164, publicada el 12 de abril de 2001 y titulada "Control de las Tasas de Reacción de la Capa de Óxido"; Publicación PCT Nº WO 01/26165, publicada el 12 de abril de 2001 y titulada "Método de la Capa de Óxido"; Publicación PCT Nº WO 01/08233, publicada el 1 de febrero de 2001 y titulada "Superconductores Revestidos de Alta Temperatura Mejorados"; Publicación PCT Nº WO 01/08231, publicada el 1 de febrero de 2001 y titulada "Métodos de Fabricación de un Superconductor"; Publicación PCT Nº WO 02/35615, publicada el 20 de abril de 2002 y titulada "Soluciones de Precursores y Métodos de Fabricación de los mismos"; Publicación PCT Nº WO 2005/121414, publicada el 22 de diciembre de 2005 y titulada "Deposición de Capas Tampón sobre Superficies Metálicas con Textura"; Publicación PCT Nº WO 2005/081710, publicada el 9 de septiembre de 2005 y titulada

25 "Películas de Óxido con Centros de Fijación de Flujo de Nanopunto"; Patente de EE.UU. Nº 6.436.317, expedida el 20 de agosto de 2002 y titulada "Composiciones de Óxido de Bronce y Artículos con Textura Fabricados con éstas"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/309.116, presentada el 31 de julio de 2001 y titulada "Superconductores Multicapa y Métodos de Fabricación de los mismos"; Patente de EE.UU. Nº 6.797.313, expedida el 28 de septiembre de 2004 y titulada "Métodos y Reactores para Superconductores"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/308.957, presentada el 31 de julio de 2001 y titulada "Métodos y Reactores para Superconductores"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/166.297, presentada el 18 de noviembre de 1999 y titulada "Artículos Superconductores y Composiciones y Métodos para la Fabricación de los mismos"; Patente de EE.UU. Nº 6.974.501, expedida el 13 de diciembre de 2005 y titulada "Artículos Superconductores y Composiciones y Métodos para la Fabricación de los mismos"; Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 10/955.866, presentada el 29 de septiembre de 2004 y titulada "Deposición gota a gota de un Superconductor de Óxido Modelado"; Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 11/241636, presentada el 30 de septiembre de 2005 y titulada "Películas Superconductoras Gruesas con Rendimiento Mejorado"; Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 10/955.875, presentada el 29 de septiembre de 2004 y titulada "Superconductores Revestidos Filamentosos de Baja Pérdida de CA"; Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 10/955.801, presentada el 29 de septiembre de 2004 y titulada "Superconductores Revestidos Filamentosos Apilados"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/667001, presentada el 31 de marzo de 2005 y titulada "Estabilizador de Tipo Malla para Superconductores Revestidos Filamentosos"; Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 11/193.262, presentada el 29 de julio de 2005 y titulada "Arquitectura para Cables Superconductores de Alta Temperatura"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/703.815, presentada el 29 de julio de 2005 y titulada "Cables y Bobinas Superconductores de Alta Temperatura"; Solicitud de Patente provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/703836, presentada el 29 de julio de 2005 y titulada "Películas Superconductoras Gruesas con Rendimiento Mejorado"; Publicación PCT Nº WO 06/021003, publicada el 19 de agosto de 2005 y titulada "Superconductores Revestidos Filamentosos Apilados"; Publicación PCT Nº WO 06/023826, publicado el 19 de agosto de 2005 y titulada "Superconductores Revestidos Filamentosos de Baja Pérdida de CA"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/757855, presentada el 10 de enero de 2006 y titulada "Método de Diseñar Películas Superconductoras de Óxido"; Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 11/393626, presentada el 30 de marzo de 2006 y titulada "Estabilizador de Tipo Malla para Superconductores Revestidos Filamentosos"; Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 11/490779, presentada el 21 de julio de 2006 y titulada "Fabricación de Cables Sellados de Superconductores de Alta Temperatura"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/832716, presentada el 21 de julio de 2006, y titulada "Conductores Flexibles, Compactos, de Gran Amperaje que Contienen Cintas Superconductoras de Alta Temperatura"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/832724, presentada el 21 de julio de 2006 y titulada "Empalme de Baja Resistencia para Cables Superconductores de Alta Temperatura"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/832871, presentada el 25 de julio de 2006 y titulada "Superconductores de Alta Temperatura que tienen Centros de Fijación de Flujo Magnético Planos y Métodos para la Fabricación de los mismos"; Solicitud de Patente Provisional N º de Serie 60/866148, presentada el 16 de noviembre de 2006, y titulada "Estabilizadores Electrochapados de Alta Resistividad en Superconductores de Alta Temperatura y Métodos de los mismos;" Solicitud de Patente de EE.UU. Nº de Serie 11/728108, presentada el 23 de marzo de 2007 y titulada "Sistemas y Métodos para la Deposición Basada en Solución de Capas de Recubrimiento Metálicas para Cables Superconductores de Alta Temperatura"; Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. Nº de Serie 60/922145, presentada el 6 de abril de 2007 y titulada

65 "Substratos Compuestos para Superconductores de Alta Temperatura con Propiedades Mejoradas"; y Solicitud de

Patente de EE.UU N° (por determinar (TBA)), presentada simultáneamente con la presente memoria y titulada "Empalme de Baja Resistencia para Cables Superconductores de Alta Temperatura".

REIVINDICACIONES

1. Un cable empleado para generar un campo magnético que comprende:
al menos un cable (400) que comprende:

una multitud de pilas (304) superconductoras de alta temperatura (HTS) dispuestas para formar una superestructura, comprendiendo dichas pilas de HTS una multitud de cintas (300) de HTS básicamente coplanarias a un plano formado por la anchura y la longitud de las cintas de HTS individuales, en donde una primera cinta (300) de HTS de la pila (304) de HTS se desplaza una distancia en la dirección de la anchura desde una cinta de HTS situada por encima de la cinta (300) de HTS individual en la pila de HTS; y
caracterizado porque:

al menos un extremo de la multitud de cintas (402) de HTS se conecta en serie con un extremo de otra cinta (402) de HTS situada en una cualquiera de la multitud de pilas (304) de HTS.

2. El cable de la reivindicación 1, en el que cada cinta (300) de HTS de la pila (304) de HTS se desplaza en la misma dirección a lo largo de la dirección de la anchura; o
donde cada cinta (300) de HTS de la pila (304) de HTS se desplaza básicamente la misma distancia; o
donde la multitud de cintas (300) de HTS forman una pila (304) que tiene una sección transversal en forma de romboide.

3. El cable de la reivindicación, en el que la multitud de pilas (304) se disponen de tal manera que un plano formado por la anchura y la longitud de la multitud de cintas de HTS es casi paralelo al perímetro local de la sección transversal de la superestructura.

4. El cable de la reivindicación 1, en el que la superestructura tiene una estructura en sección transversal hexagonal; o en el que la superestructura tiene una estructura en sección transversal triangular, o en el que la superestructura se retuerce sobre el eje del cable.

5. El cable de la reivindicación 1, en el que
el cable (400) comprende al menos N cintas (300) de HTS; y
un primer extremo de la (N-1)-ésima cinta (402) de HTS se conecta en serie a un segundo extremo de una N-ésima cinta de HTS;

la N-ésima cinta de HTS y la (N-1)-ésima cinta de HTS se ubican en una cualquiera de la multitud de pilas (304) de HTS.

6. El cable de la reivindicación 5, en el que las cintas (300) de HTS se conectan entre sí utilizando
una caja (410) de conexiones que tiene enchufes capaces de recibir el primer extremo de la (N-1)-ésima cinta de HTS y el segundo extremo de la N-ésima cinta de HTS;
una soldadura;

presión física para presionar el primer extremo de la (N-1)-ésima cinta de HTS y el segundo extremo de la N-ésima cinta de HTS entre sí; o
cualquier combinación de los mismos.

7. Un sistema de desimanación que comprende:

el cable (400) de la reivindicación 1;

un sistema de refrigeración para mantener las cintas de HTS en un estado superconductor; y

una fuente de alimentación para proporcionar una corriente controlada a las cintas de HTS.

8. El sistema de desimanación de la reivindicación 7, en el que el sistema de refrigeración comprende
un criostato (404) para alojar el cable,
un refrigerante (412),

un mecanismo (406) de refrigeración para enfriar el refrigerante, y

un mecanismo (408) de distribución para distribuir el refrigerante a las cintas de HTS.

9. El sistema de desimanación de la reivindicación 8, en el que el criostato (404) además comprende un estrangulador (413) capaz de dividir un flujo de refrigerante (412) en dos chorros de flujo diferentes.

10. El sistema de desimanación de la reivindicación 9, en el que el estrangulador (413) comprende una carcasa del estrangulador, al menos un anillo de sellado y al menos una tapa de sellado.

11. El sistema de desimanación de la reivindicación 10, en el que la al menos una tapa de sellado puede apretarse para controlar la cantidad relativa de refrigerante que fluye en los dos chorros de flujo diferentes.

12. El sistema de desimanación de la reivindicación 10, en el que la al menos una tapa de sellado y la carcasa del estrangulador se componen de un material compuesto.

13. El sistema de desimanación de la reivindicación 10, en el que el al menos un anillo de sellado se compone de un fluoropolímero.

14. El sistema de desimanación de la reivindicación 8, en el que:

la fuente de alimentación proporciona corriente a las cintas de HTS a través de al menos dos cables de corriente;

el mecanismo de distribución comprende una entrada para distribuir el refrigerante a las cintas de HTS; y

la entrada y los cables de corriente se disponen de manera que el refrigerante se distribuye a alguna parte de los cables de corriente.

FIG. 1A

Cinta de HTS Original

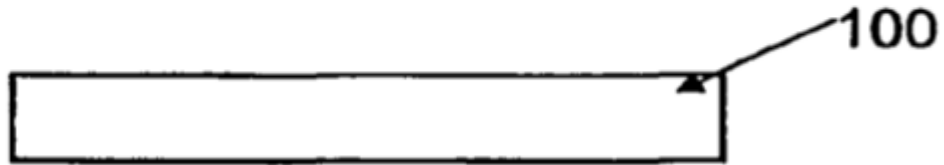


FIG. 1B

Cinta de HTS Chapada

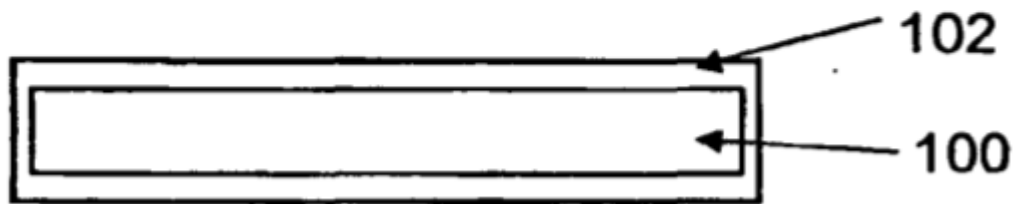


FIG. 1C

Cinta de HTS Reforzada con Laminación

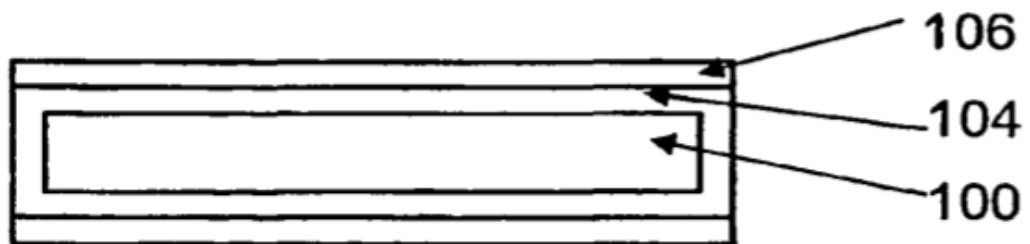


FIG. 2

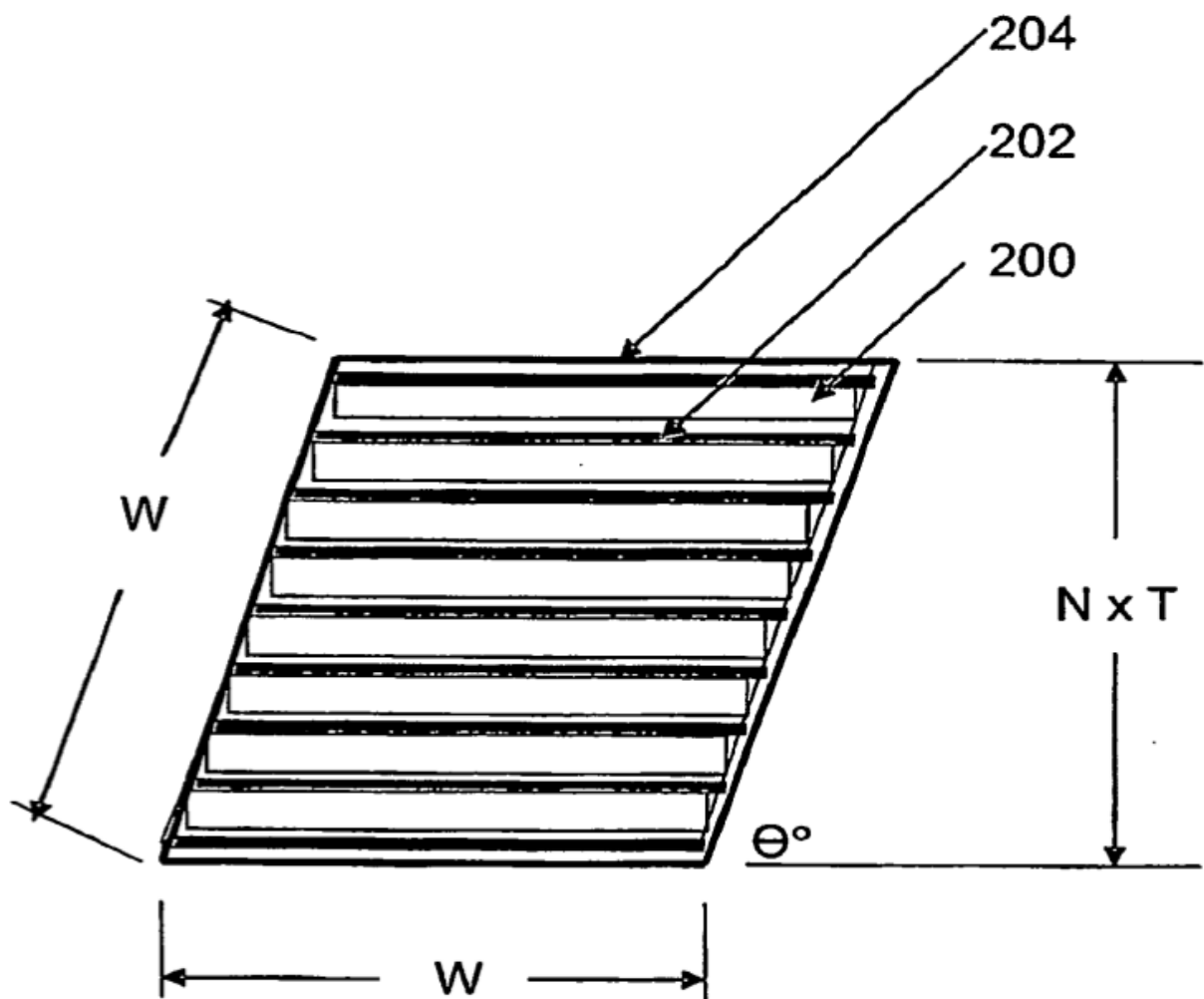


FIG. 3A

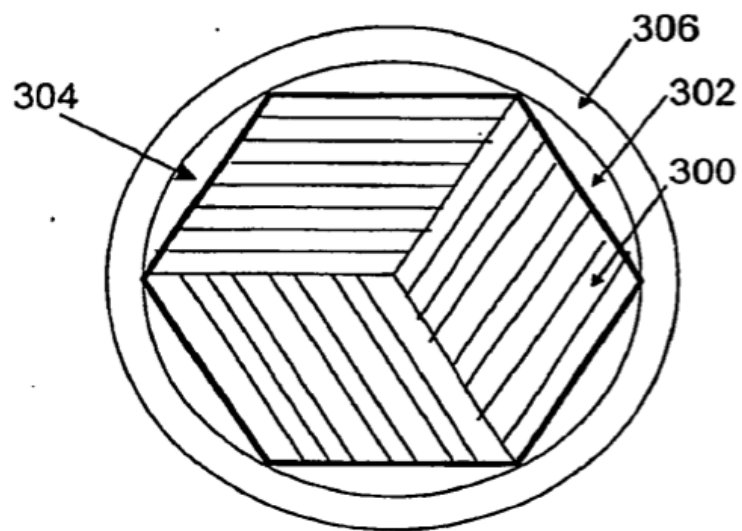


FIG. 3B

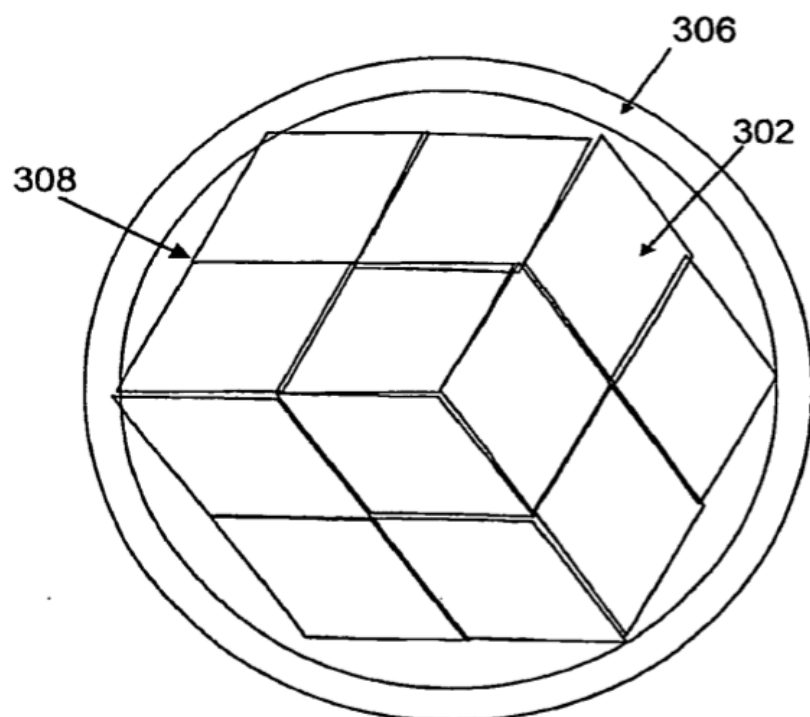


FIG. 3C

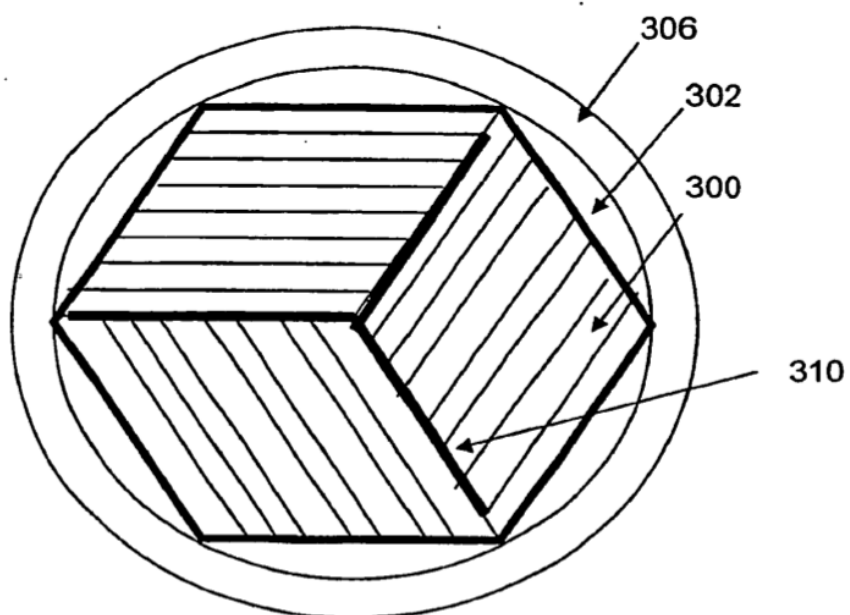


FIG. 3D

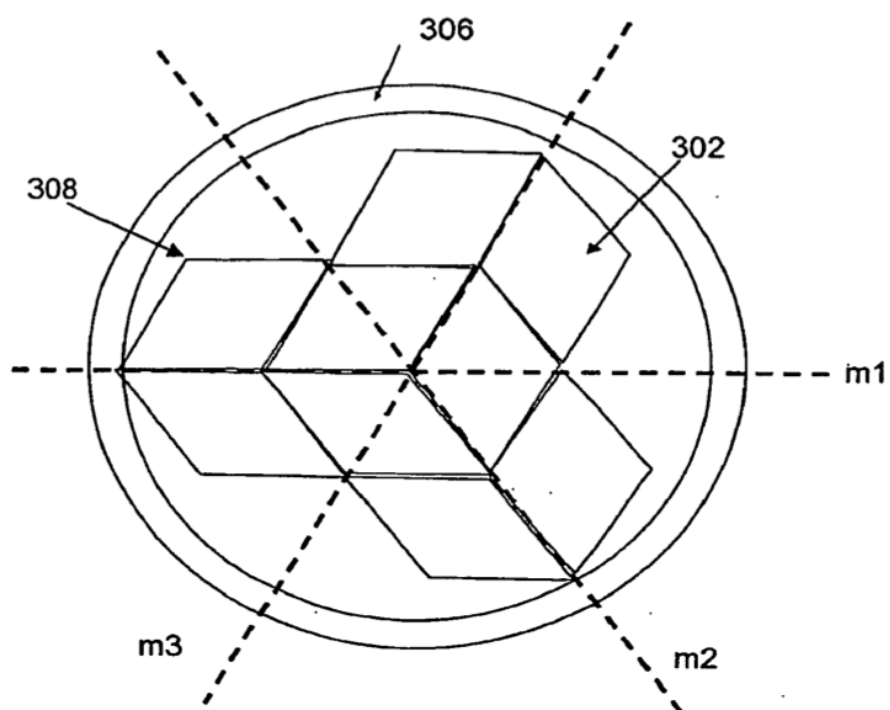


FIG. 3E

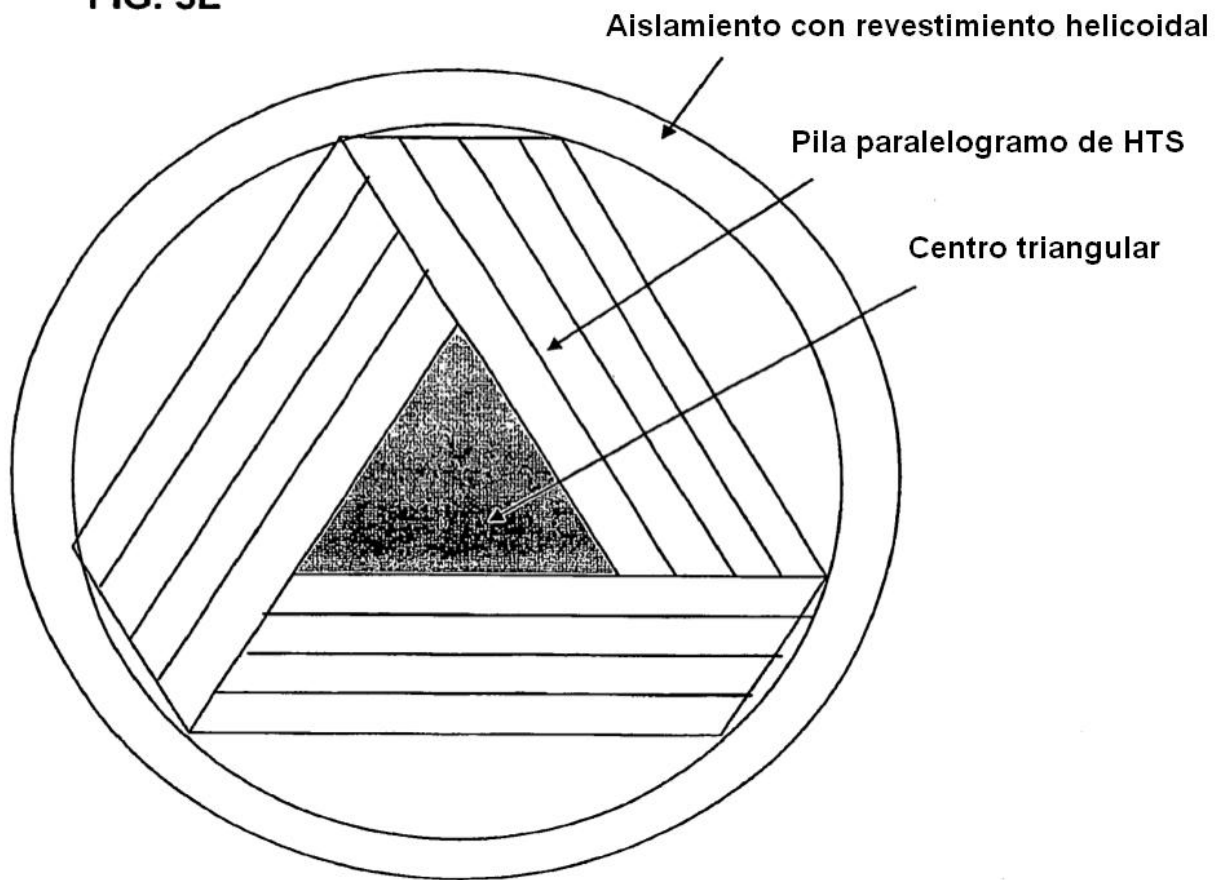


FIG. 4A

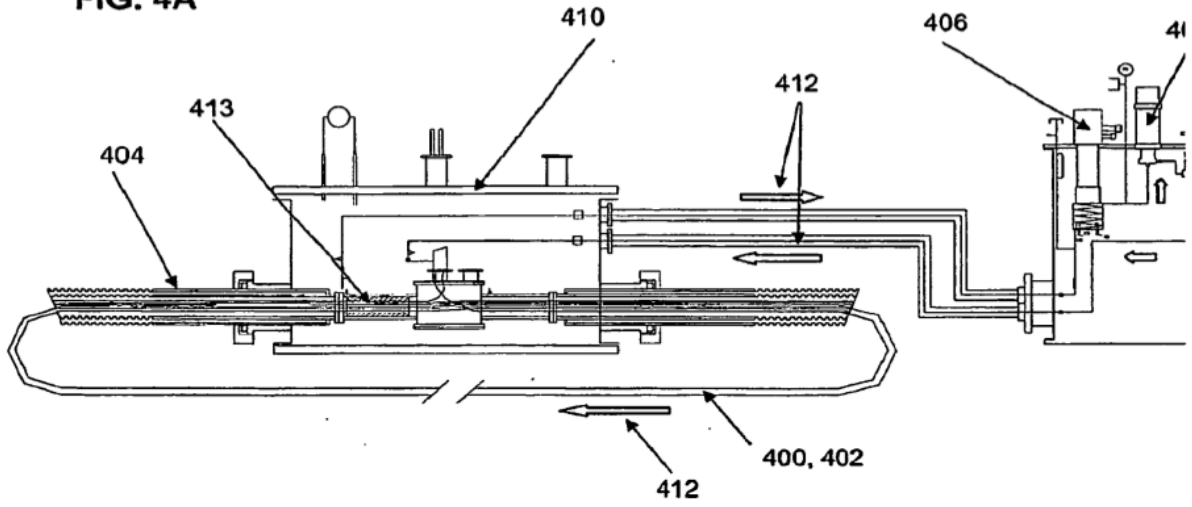


FIG. 4B

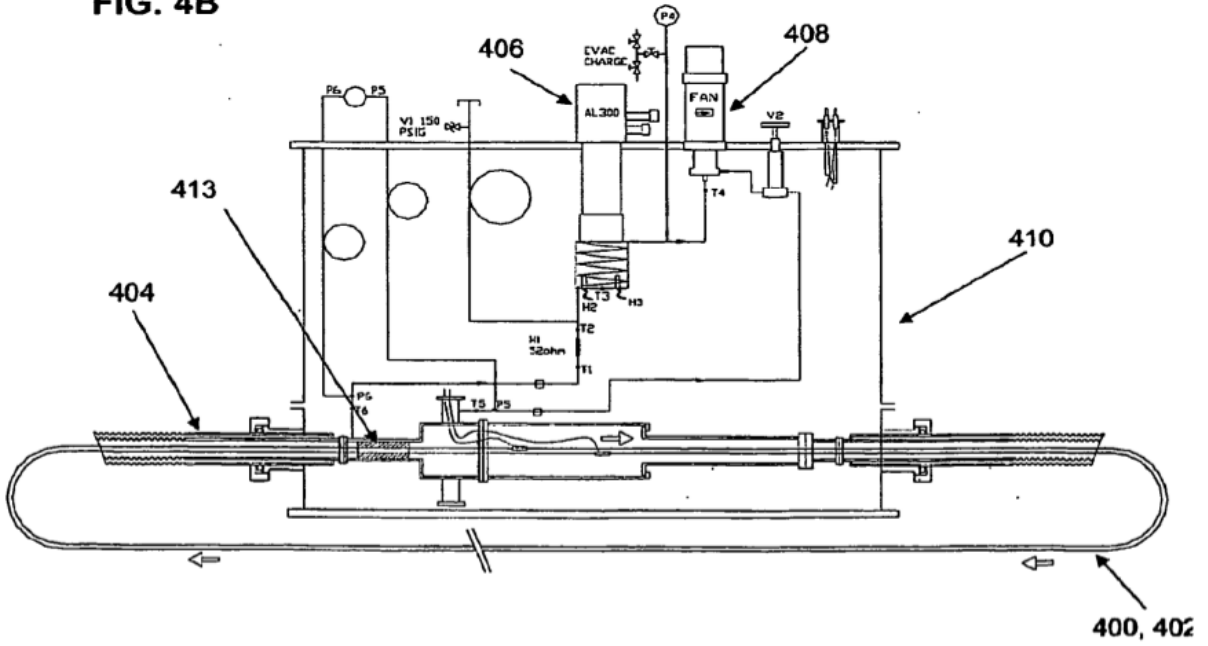


FIG. 4C

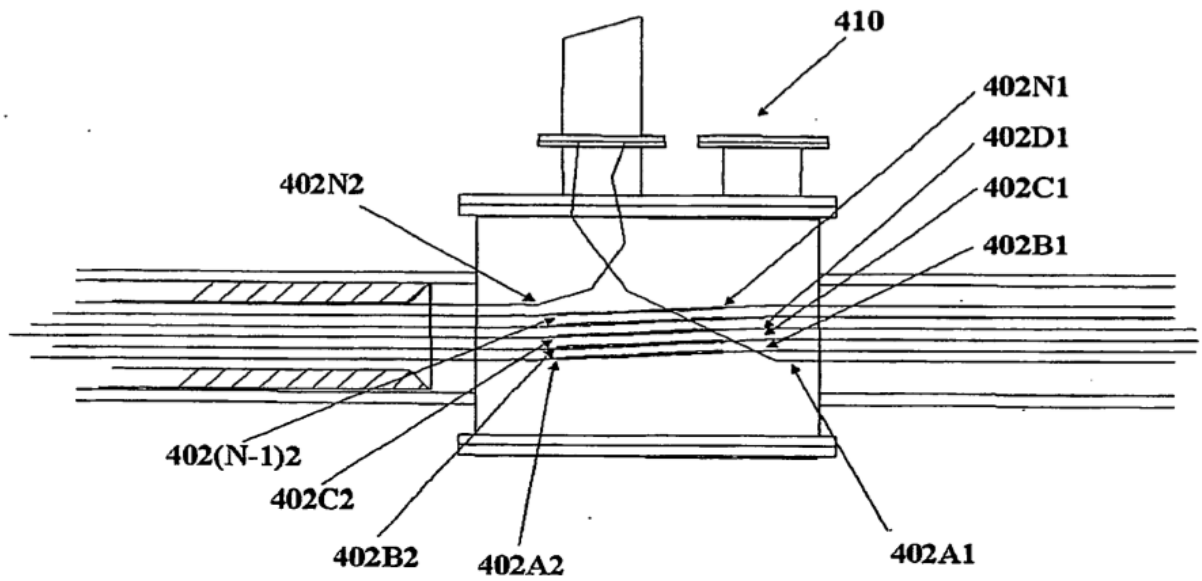


FIG. 4D

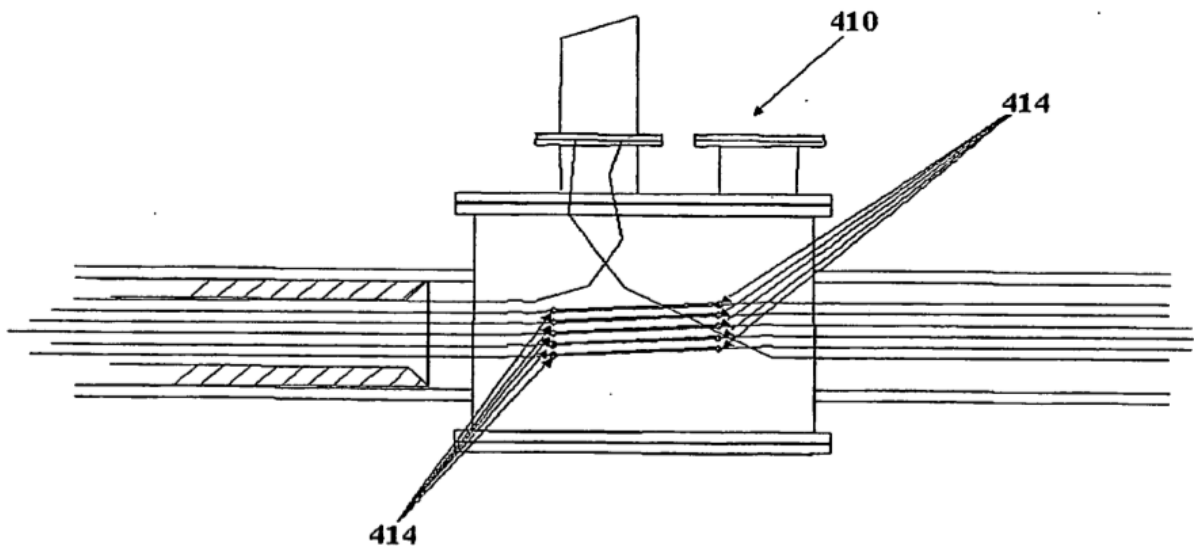


FIG. 4E

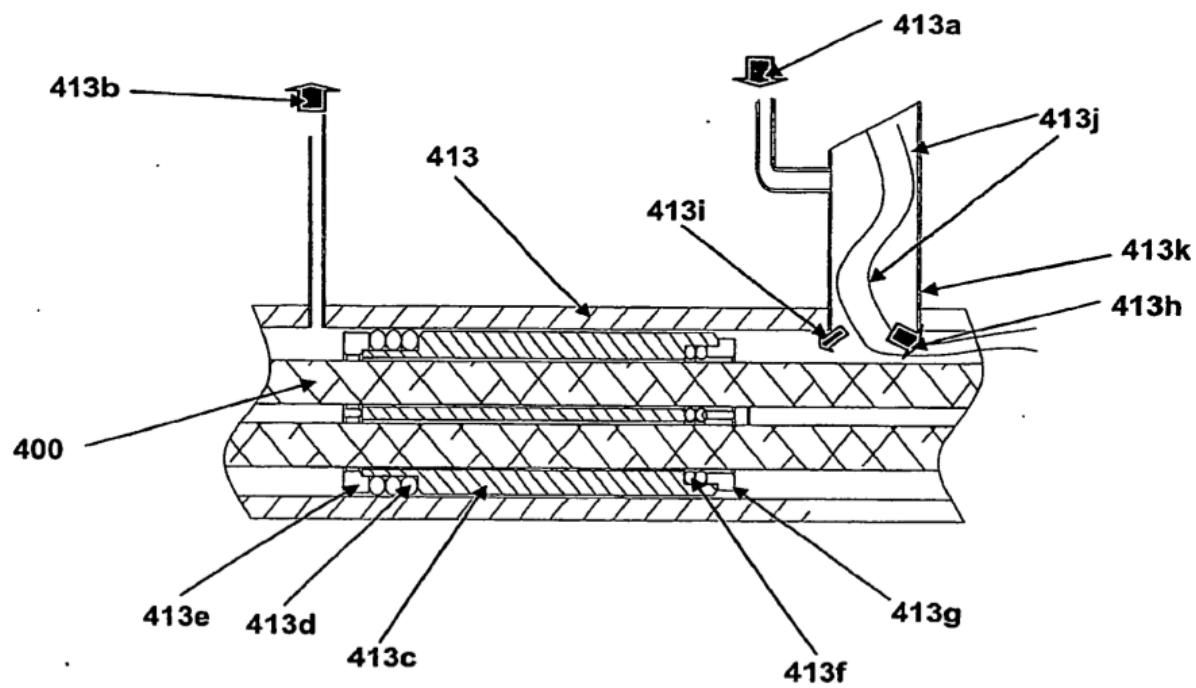


FIG. 5A



FIG. 5B



FIG. 6

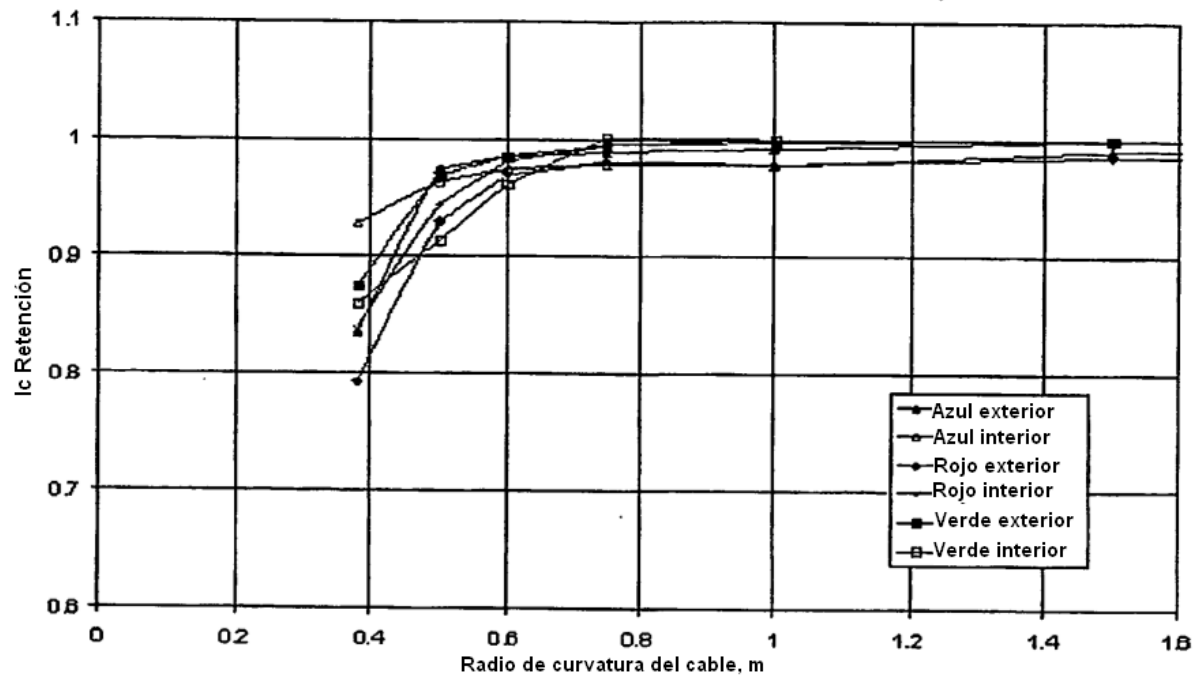


FIG. 7A

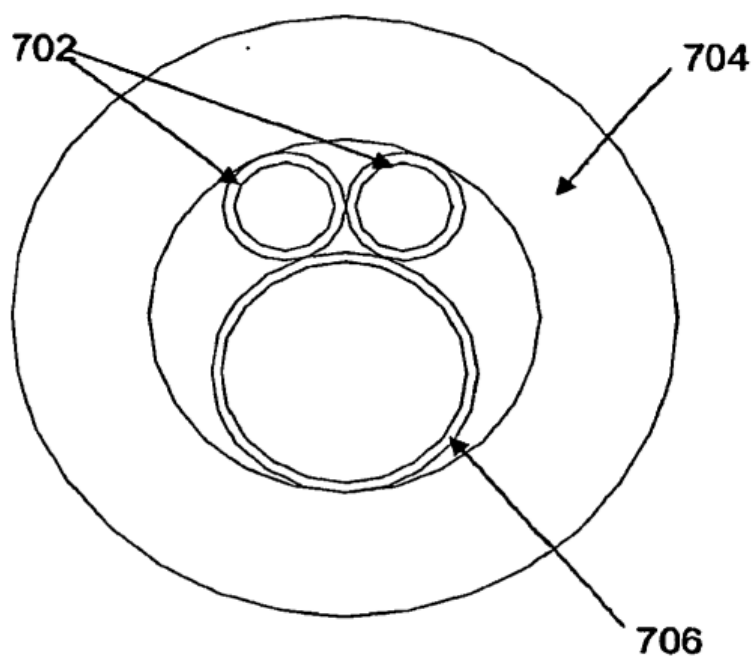


FIG. 7B

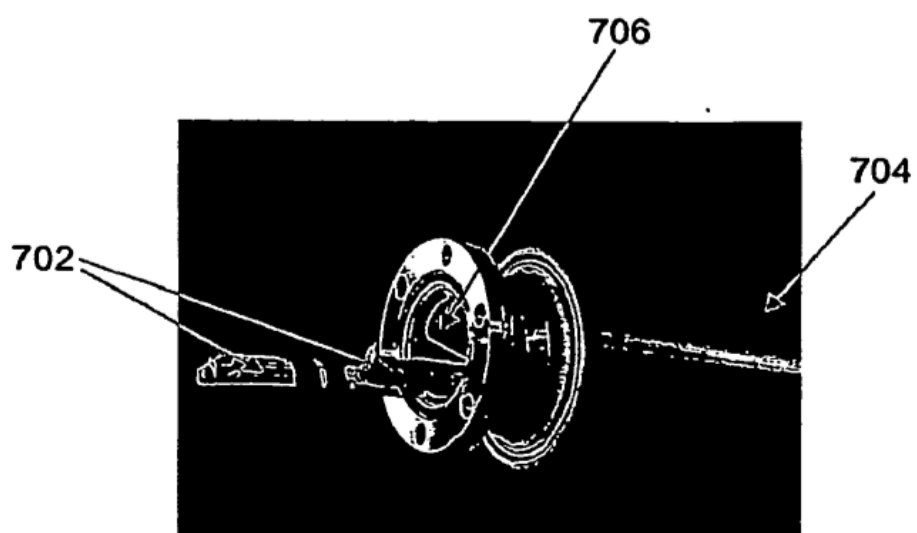


FIG. 7C

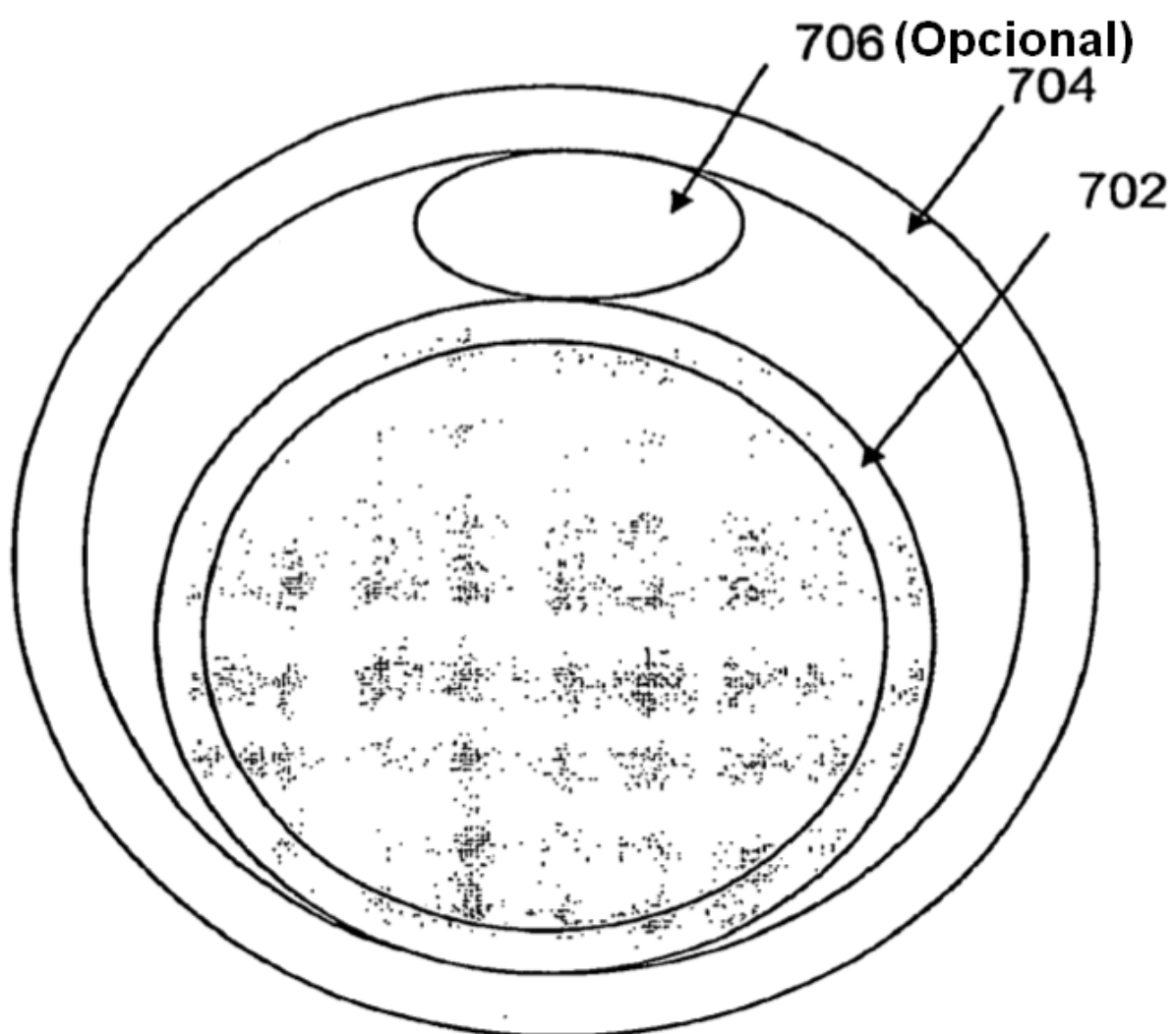


FIG. 8

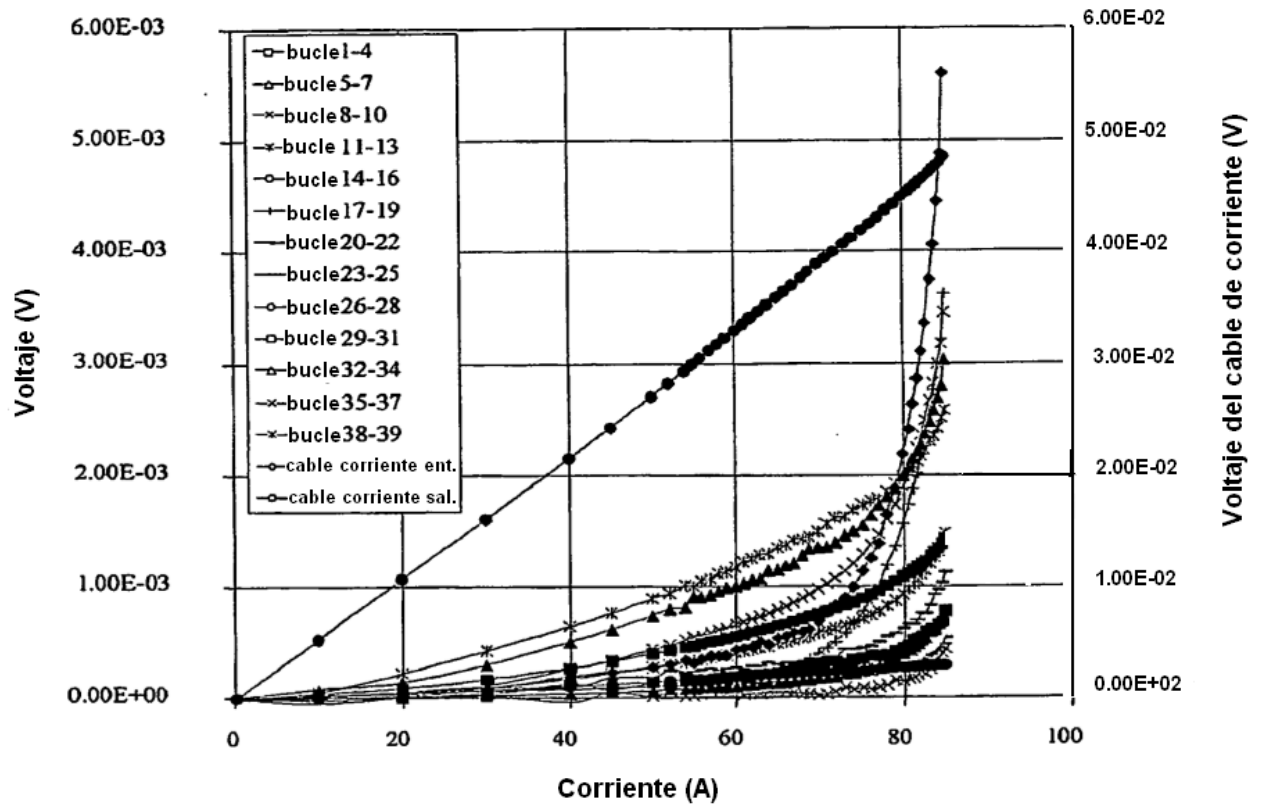


FIG. 9

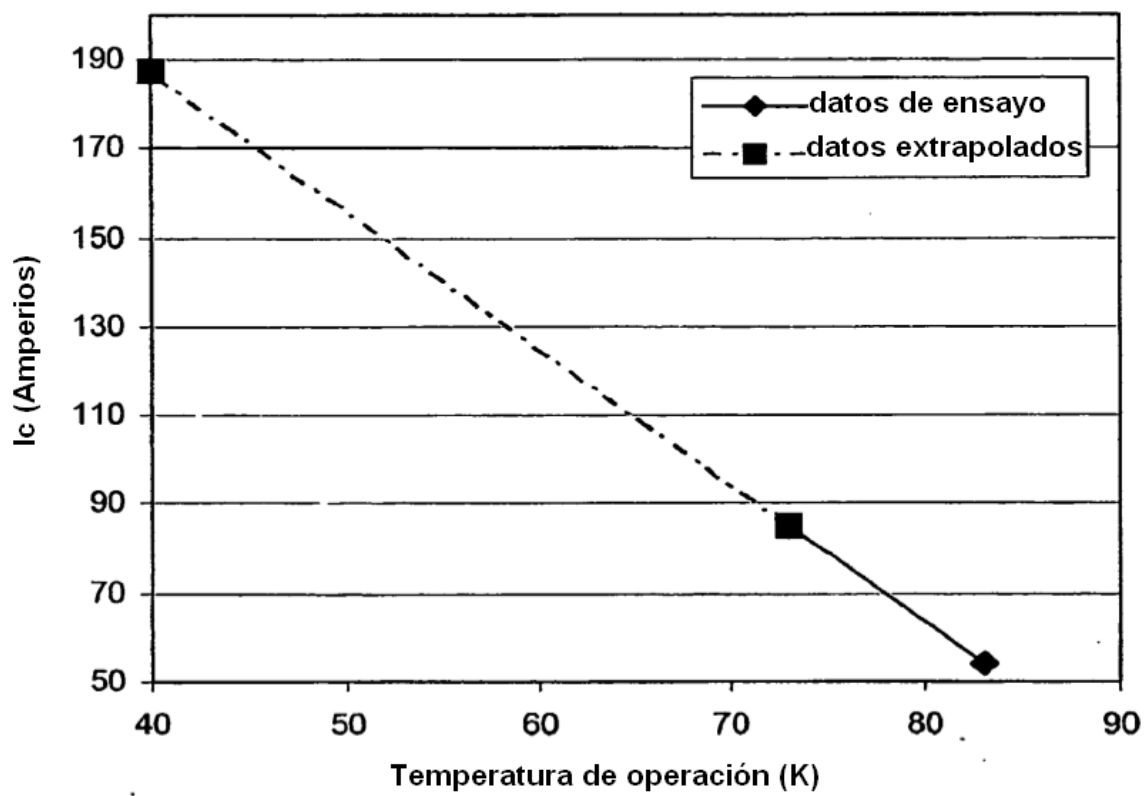


FIG. 10

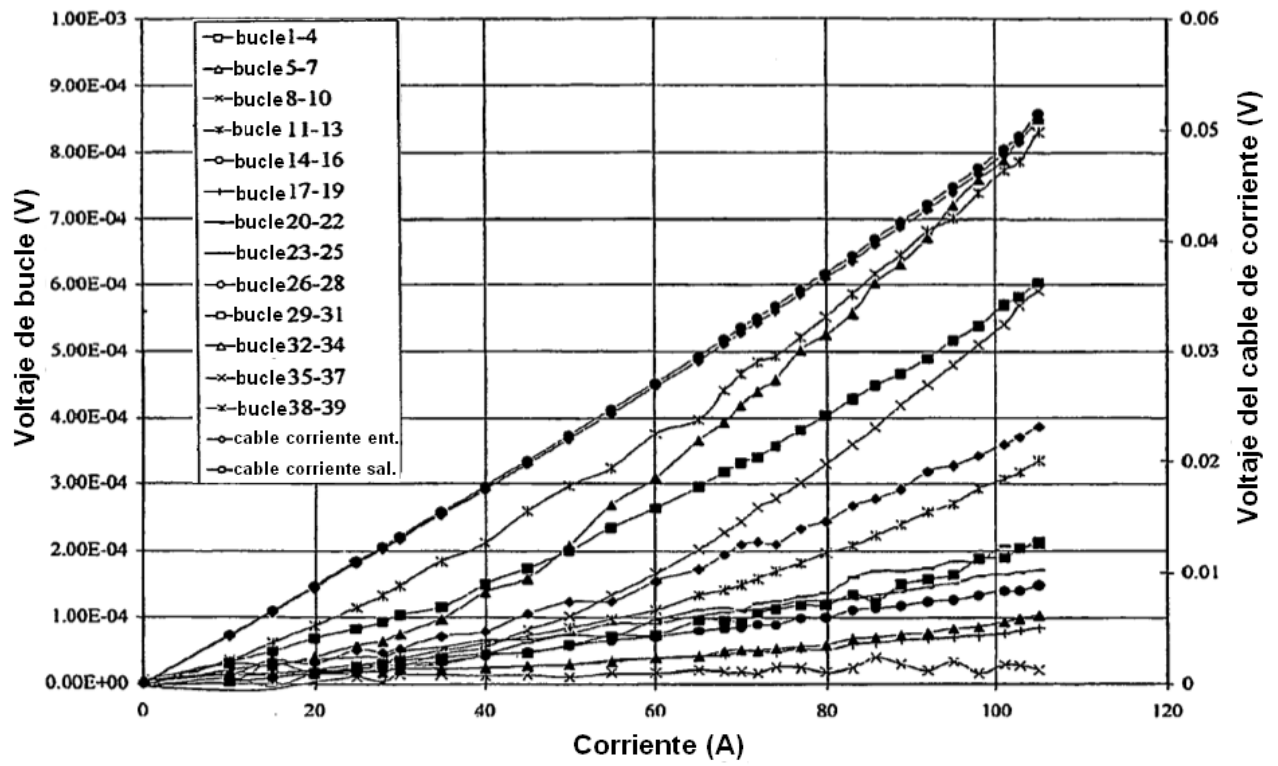


FIG. 11

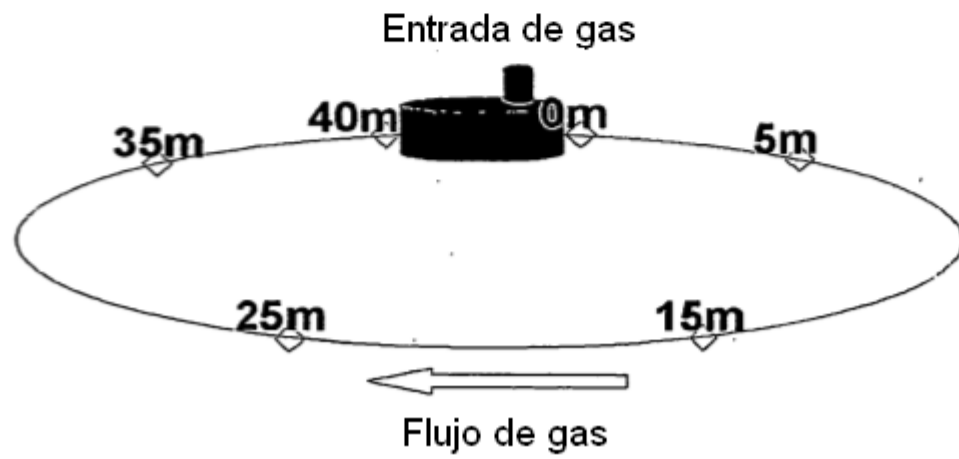
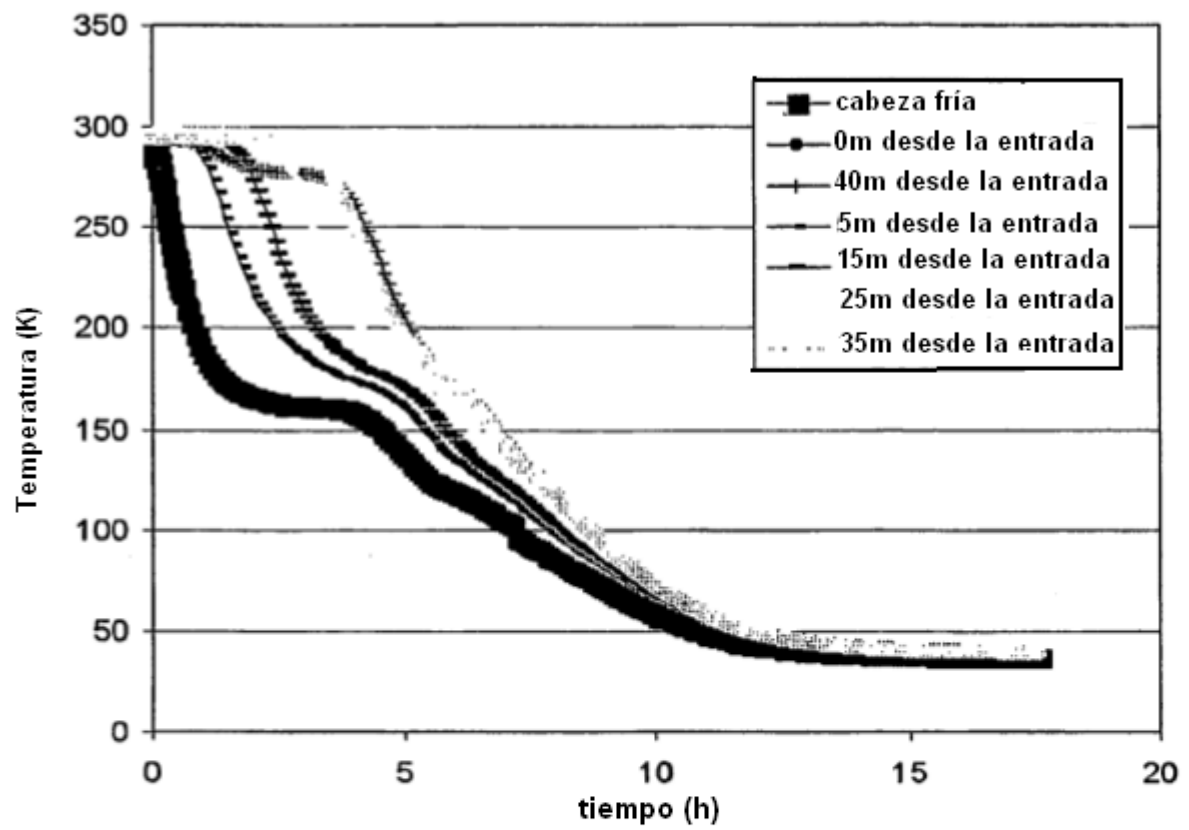


FIG. 12

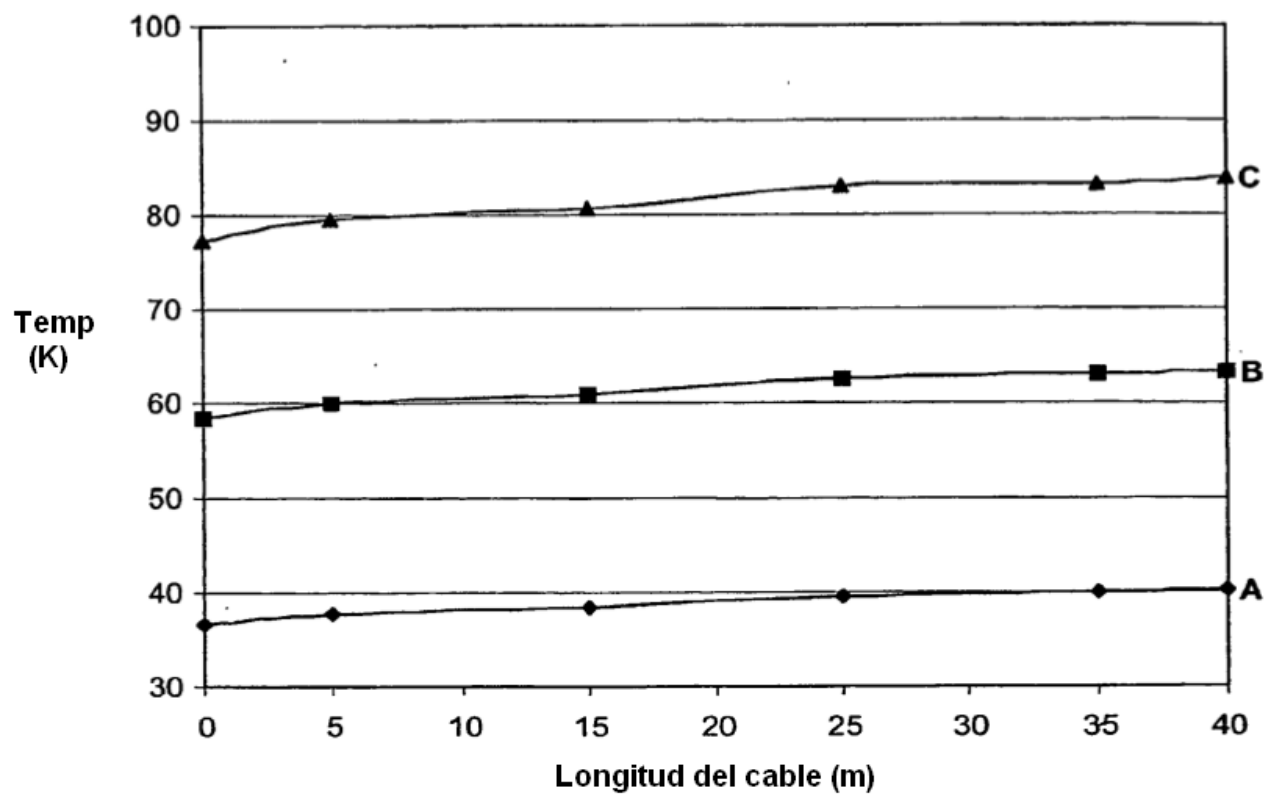


FIG. 13

