

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 901**

51 Int. Cl.:

**H01B 7/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.05.2009 PCT/US2009/043208**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.11.2009 WO09137722**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.05.2009 E 09743708 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 2279512**

54 Título: **Mazo de cables y cables eléctricos coaxiales basados en nanotubos de carbón**

30 Prioridad:

**07.05.2008 US 51249**

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

**14.04.2020**

73 Titular/es:

**NANOCOMP TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)  
57 Daniel Webster Hwy  
Merrimack, NH 03054, US**

72 Inventor/es:

**MANN, JENNIFER;  
LASHMORE, DAVID, S.;  
WHITE, BRIAN y  
ANTOINETTE, PETER, L.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 753 901 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**

Mazo de cables y cables eléctricos coaxiales basados en nanotubos de carbón

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a la formación de un cable, y más particularmente, a un miembro conductor hecho de un material basado en una nanoestructura y una capa de protección hecha de un material capaz de proporcionar un acoplamiento de resistencia sustancialmente baja.

10

Técnica anterior

Se conoce que los nanotubos de carbón tienen una extraordinaria resistencia a la tracción, lo que incluye una alta deformación hasta el fallo y un módulo de tracción relativamente alto. Los nanotubos de carbón también pueden ser altamente resistentes a la fatiga, el daño por radiación y el calor. Con este fin, la adición de nanotubos de carbón a los materiales compuestos puede aumentar la resistencia a la tracción y la rigidez de los materiales compuestos.

15

Durante los últimos quince (15) años, dado que las propiedades de los nanotubos de carbón se han comprendido mejor, los intereses en los nanotubos de carbón han aumentado considerablemente dentro y fuera de la comunidad investigadora. Una clave para hacer uso de estas propiedades es la síntesis de nanotubos en cantidades suficientes para que puedan usarse a gran escala. Por ejemplo, pueden ser necesarias grandes cantidades de nanotubos de carbón si van a usarse como componentes de alta resistencia de compuestos en estructuras a macroescala (es decir, estructuras que tienen dimensiones mayores que aproximadamente 1 cm).

20

Una ruta común para la síntesis de nanotubos puede ser mediante el uso de pirólisis en fase gaseosa, tal como la empleada en relación con la deposición química de vapor. En este proceso, se puede formar un nanotubo a partir de la superficie de una nanopartícula catalítica. Específicamente, la nanopartícula catalítica puede exponerse a una mezcla de gases que contiene compuestos de carbón que sirven como materia prima para la generación de un nanotubo desde la superficie de la nanopartícula.

25

30

Recientemente, una ruta prometedora para la producción de nanotubos de alto volumen ha sido emplear un sistema de deposición química de vapor que produce nanotubos a partir de partículas catalizadoras que "flotan" en el gas de reacción. Dicho sistema típicamente lleva una mezcla de gases de reacción a través de una cámara calentada dentro de la cual pueden generarse los nanotubos a partir de nanopartículas que se han precipitado del gas de reacción. Pueden ser posibles otras numerosas variaciones, incluidas aquellas en las que las partículas catalizadoras pueden ser suministradas previamente.

35

Sin embargo, en los casos en que se pueden generar grandes volúmenes de nanotubos de carbón, los nanotubos pueden adherirse a las paredes de una cámara de reacción, lo que resulta en el bloqueo de los nanomateriales que salen de la cámara. Además, estos bloqueos pueden inducir una acumulación de presión en la cámara de reacción, lo que puede dar como resultado la modificación de la cinética general de la reacción. Una modificación de la cinética puede conducir a una reducción en la uniformidad del material producido.

40

Una preocupación adicional con los nanomateriales puede ser que necesitan ser manipulados y procesados sin generar grandes cantidades de partículas en el aire, ya que los peligros asociados con los materiales a nanoescala aún no se conocen bien.

45

El procesamiento de nanotubos o materiales a nanoescala para aplicaciones de macroescala ha aumentado constantemente en los últimos años. El uso de materiales a nanoescala en fibras textiles y materiales relacionados también ha ido en aumento. En la técnica textil, las fibras que son de longitud fija y que se han procesado en una gran masa pueden denominarse fibras cortas. La tecnología para la manipulación de fibras cortas, tales como lino, lana y algodón, se ha establecido desde hace mucho tiempo. Para hacer uso de fibras cortas en telas u otros elementos estructurales, las fibras cortas pueden formarse primero en estructuras volumétricas tales como hilos, rollos o láminas, que luego pueden procesarse en los materiales apropiados.

50

55

En consecuencia, sería deseable proporcionar un material que pueda aprovechar las características y propiedades de los nanotubos de carbón, de manera que un cable fabricado a partir de nanotubos de carbón pueda procesarse para aplicaciones de uso final.

60

El documento US2007/0293086 describe un cable coaxial que incluye al menos un cable conductor, al menos una capa aislante que recubre un cable conductor respectivo, al menos una capa de protección que rodea al menos una capa aislante, y una única envoltura que envuelve al menos una capa de protección. La capa de protección incluye un material polimérico, un cable protegido contra la interferencia electromagnética (EMI).

65

El documento US2007/0151744 describe un conductor compuesto que incluye una matriz metálica y una cierta cantidad de nanotubos de carbón. La matriz metálica está compuesta de un material seleccionado del grupo que consiste de cobre,

zinc, plata y cualquier aleación combinada de los mismos. Un porcentaje en masa de los nanotubos de carbón está en un intervalo aproximado de 0,2 por ciento a 2 por ciento. Un cable eléctrico incluye un núcleo conductor interior compuesto y una capa exterior. La capa exterior incluye además una capa aislante, una capa de protección y una capa protectora. La capa aislante está compuesta de nanoarcilla y teflón. La capa de protección está compuesta de nanotubos de carbón, hilo de nanotubos de carbón y cobre. La capa protectora está compuesta de nanoarcilla.

#### Resumen de la invención

La presente invención proporciona, de acuerdo con una modalidad, un cable. En una modalidad, el cable comprende un miembro conductor fabricado a partir de un material basado en nanoestructura definido por hilos hechos de nanotubos y en donde el hilo resulta de un haz de nanotubos que posteriormente pueden hilarse apretadamente en un hilo torcido; una capa de protección fabricada a partir de una lámina de nanotubos y situada circunferencialmente alrededor del miembro conductor; y un mecanismo de acoplamiento situado entre la capa de protección y el miembro conductor en donde el mecanismo de acoplamiento comprende un material de carbón vítreo.

La presente invención proporciona, de acuerdo con otra modalidad, un método para fabricar un cable. El método comprende proporcionar un miembro conductor fabricado a partir de un material basado en nanoestructura definido por hilos hechos de nanotubos y en donde el hilo resulta de un haz de nanotubos que posteriormente pueden hilarse apretadamente en un hilo torcido; colocar una capa de protección fabricada a partir de una lámina de nanotubos circunferencialmente alrededor del miembro conductor; y aplicar un mecanismo de acoplamiento entre la capa de protección y el miembro conductor en donde el mecanismo de acoplamiento comprende un material de carbón vítreo.

#### Breve descripción de los dibujos

Las Figuras 1 ilustra un cable de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

La Figura 2 ilustra las frecuencias de equilibrio para miembros conductores fabricados de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 3 ilustra las frecuencias de equilibrio para miembros conductores fabricados de acuerdo con otra modalidad de la presente invención.

La Figura 4 ilustra las propiedades eléctricas de los nanotubos de carbón fabricados de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 5 ilustra las características de resistividad frente a temperatura de nanotubos de carbón fabricados de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 6 ilustra las características de resistividad frente a temperatura de los nanotubos de carbón dentro (y fuera) de la presencia de un campo magnético.

La Figura 7 ilustra un sistema para la formación y recolección de materiales nanofibrosos de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 8 ilustra un sistema de deposición química de vapor para fabricar nanotubos, de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

La Figura 9 ilustra otra variación de un sistema (que no forma parte de la presente invención) para la formación y recolección de materiales nanofibrosos.

La Figura 10 ilustra un sistema de la presente invención para la formación y recolección de materiales nanofibrosos.

La Figura 11 ilustra un cable de acuerdo con otra modalidad de la presente invención.

La Figura 12 ilustra las propiedades de resistencia para un cable de la presente invención en comparación con aquellas propiedades exhibidas por alambres de cobre o hilos de Litz.

La Figura 13 ilustra la relación entre la frecuencia de un cable de la presente invención y el grosor del cable.

La Figura 14 ilustra las propiedades de resistencia frente a corriente para un cable fabricado de acuerdo con una modalidad de la presente invención en comparación con las propiedades exhibidas por alambres de cobre o hilos de Litz.

La Figura 15 ilustra las propiedades de corriente frente a temperatura para un cable de la presente invención.

La Figura 16 ilustra otra modalidad de la presente invención en la que el cable es parte de un mazo de cables.

## Descripción de las modalidades específicas

5 La presente invención proporciona, de acuerdo con una modalidad, un cable. En una modalidad, el cable, como se muestra en la Figura 1, incluye un miembro conductor 42 hecho de un material basado en nanoestructura. El cable también incluye una capa de protección colocada alrededor del miembro conductor 42. El cable puede incluir además una capa de aislamiento para mejorar la conductividad y reducir la resistividad del cable. El cable incluye además un mecanismo de acoplamiento situado entre el miembro conductor 42 y la capa de protección.

10 El mecanismo de acoplamiento puede actuar para asegurar la capa de protección en el cable. El mecanismo de acoplamiento actúa además para mantener la transmisión de corriente a lo largo del miembro conductor 42.

15 Actualmente, existen múltiples procesos y variaciones de los mismos para el cultivo de nanotubos y la formación de láminas o estructuras de cable fabricadas a partir de estos nanotubos. Estos incluyen: (1) Deposición química de vapor (CVD), un proceso común que puede ocurrir a temperatura cercana a la temperatura ambiente o a altas presiones, y a temperaturas por encima de aproximadamente 400 °C, (2) Descarga de arco, un proceso de alta temperatura que puede dar lugar a tubos que tienen un alto grado de perfección, y (3) Ablación láser.

20 La presente invención, en una modalidad, emplea un proceso de CVD o procedimientos similares de pirólisis de fase gaseosa conocidos en la industria para generar las nanoestructuras apropiadas, que incluyen nanotubos de carbón. Las temperaturas de cultivo para un proceso de CVD pueden ser comparativamente bajas, por ejemplo, de aproximadamente 400 °C a aproximadamente 1350 °C. Se pueden cultivar nanotubos de carbón, tanto de pared única (SWNT) como de paredes múltiples (MWNT), en una modalidad de la presente invención, al exponer partículas catalizadoras nanoescaladas en presencia de gases reactivos que contienen carbón (es decir, fuente de carbón gaseoso). En particular, las partículas catalizadoras nanoescaladas pueden introducirse en los gases reactivos que contienen carbón, ya sea mediante la adición de partículas existentes o mediante la síntesis in situ de las partículas de un precursor metal-orgánico, o incluso catalizadores no metálicos. Aunque pueden cultivarse SWNT y MWNT, en ciertos casos, los SWNT pueden seleccionarse debido a su velocidad de cultivo relativamente mayor y su tendencia a formar estructuras similares a cuerdas, que pueden ofrecer ventajas en la manipulación, conductividad térmica, propiedades electrónicas y resistencia.

25 La resistencia de los nanotubos de carbón generados en relación con la presente invención puede ser de aproximadamente 30 GPa o más. La resistencia, como debe señalarse, es sensible a los defectos. Sin embargo, el módulo elástico de los nanotubos de carbón fabricados en la presente invención puede no ser sensible a los defectos y puede variar de aproximadamente 1 a aproximadamente 1,2 TPa. Además, la deformación hasta el fallo de estos nanotubos, que generalmente puede ser un parámetro sensible a la estructura, puede variar de aproximadamente 10 % a un máximo de aproximadamente 25 % en la presente invención.

30 Además, los nanotubos de la presente invención pueden proporcionarse con un diámetro relativamente pequeño. En una modalidad de la presente invención, los nanotubos fabricados en la presente invención pueden proporcionarse con un diámetro en un intervalo de menos de 1 nm a aproximadamente 10 nm.

35 Los nanotubos de la presente invención también pueden usarse como un miembro conductor para transportar corriente relativamente alta similar a un hilo de Litz o cable. Sin embargo, a diferencia de un hilo de Litz o un cable soldado a una porción del conector, el miembro conductor del nanotubo de la presente invención puede exhibir una impedancia relativamente menor en comparación. En particular, se ha observado en la presente invención que cuanto más cortos sean los pulsos de corriente, mejor funcionará el cable o cinta de alambres a base de nanotubos en comparación con una cinta de cobre o un hilo de Litz. Una razón para el mejor rendimiento observado puede ser que el contenido de frecuencia efectiva del pulso, que puede calcularse a partir de la Transformada de Fourier de la forma de onda para pulsos de corriente que son cuadrados y cortos, por ejemplo, aproximadamente 100 ms a menos de aproximadamente 1 ms, puede ser muy alto. Específicamente, los nanotubos de carbón individuales de la presente invención pueden servir como vías conductoras, y debido a su pequeño tamaño, cuando las estructuras volumétricas están hechas de estos nanotubos, las estructuras volumétricas pueden contener un número extraordinariamente grande de elementos conductores, por ejemplo, del orden de  $10^{14}/\text{cm}^2$  o mayor.

40 Los nanotubos de carbón de la presente invención también pueden demostrar la conducción balística como un medio fundamental de conductividad. Por lo tanto, los materiales fabricados a partir de nanotubos de la presente invención pueden representar un avance significativo sobre el cobre y otros miembros conductores metálicos bajo condiciones de corriente alterna AC. Sin embargo, unir este tipo de miembro conductor a un circuito externo requiere que esencialmente cada nanotubo esté en contacto eléctrico o térmico para evitar la resistencia de contacto en la unión.

45 Los nanotubos de carbón de la presente invención pueden exhibir ciertas características que se muestran en las Figs. 2-6. La Figura 2 muestra las frecuencias de equilibrio para conductores hechos de un cable de nanotubos de carbón, un cable de cobre y un hilo de Litz. La resistencia está influenciada por varios factores, incluidos el efecto pelicular, el efecto de proximidad y la forma del conductor. Además, la resistencia también está influenciada por el comportamiento de la CC, donde el cobre es aproximadamente sesenta veces más fuerte. La Figura 3 muestra los mismos cálculos que la Figura 2 usando cables de nanotubos de carbón mucho más gruesos. Las frecuencias de equilibrio para los cables de nanotubos de carbón más gruesos son más bajas. La Figura 4 ilustra las propiedades eléctricas de los nanotubos de carbón

fabricados de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La Figura 5 ilustra la resistividad de estos nanotubos de carbón en relación con la temperatura. La Figura 6 ilustra las características de la resistividad de nanotubos de carbón frente a la temperatura dentro (y fuera) de la presencia de un campo magnético.

5 Se debe señalar que, aunque se hace referencia en toda la solicitud a los nanotubos sintetizados a partir de carbón, otros compuestos tales como boro,  $\text{MoS}_2$ , o sus combinaciones puede usarse en la síntesis de nanotubos en relación con la presente invención. Por ejemplo, debe entenderse que los nanotubos de boro también pueden cultivarse, pero con diferentes precursores químicos. Además, se debe señalar que el boro también puede usarse para reducir la resistividad en nanotubos de carbón individuales. Además, otros métodos, tales como CVD por plasma o similares, también pueden  
10 usarse para fabricar los nanotubos de la presente invención.

#### Formación del cable

15 Para transportar pulsos de corriente relativamente altos entre dos conductores, tal como un condensador de alta energía, una correa de conexión a tierra, una barra de bus o tubería de bus, o un circuito generador de pulsos, a un circuito externo sin degradación de la forma de onda o sin calentamiento de una unión, la presente invención proporciona, en una modalidad, un cable conductor tal como el que se muestra en la Figura 1. El cable conductor puede ser, en una modalidad, un cable coaxial 40. El cable coaxial 40 puede incluir, entre otras cosas, un miembro conductor 42 fabricado a partir de un material basado en nanoestructura y una capa de protección 44 situada circunferencialmente alrededor del miembro conductor 42 y fabricada a partir de un material capaz de proporcionar un acoplamiento de resistencia sustancialmente baja, tal como la lámina 26. Se debe señalar que esta disposición de cable coaxial 40 se proporciona solo con fines  
20 ilustrativos y pueden ser posibles otras configuraciones.

De acuerdo con una modalidad, el cable coaxial 40 puede incluir un miembro conductor 42 fabricado a partir de un material basado en nanoestructura. El material basado en nanoestructura, en una modalidad, puede definirse por hilos, tiras, alambres, cables, cintas o láminas fabricadas de acuerdo con la presente invención a partir de nanotubos de carbón fabricados de manera similar a la descrita en la Solicitud de Patente de Estados Unidos Núm. 11/488,387. Para cintas y láminas, estas pueden enrollarse en forma cilíndrica para formar el miembro conductor 42.

#### 30 Formación del miembro conductor

Con referencia ahora a la Figura 7, bajo producción en estado estacionario usando un proceso CVD de la presente invención, los nanotubos 51 pueden recogerse desde dentro de una cámara de síntesis 52 y después puede formarse un hilo 53. Específicamente, a medida que los nanotubos 51 emergen de la cámara de síntesis 52, pueden recogerse en un haz 54, alimentarse al extremo de admisión 55 de un huso 56, y posteriormente hilarse o torcerse en el hilo 53 dentro de él. Se debe señalar que un giro continuo al hilo 53 puede acumular suficiente esfuerzo angular para causar la rotación cerca de un punto donde los nuevos nanotubos 51 llegan al huso 56 para avanzar el proceso de formación del hilo. Además, se puede aplicar una tensión continua al hilo 53 o se puede permitir su avance en la cámara de recolección 58 a una velocidad controlada, para permitir su recogida circunferencialmente alrededor de un carrete 57.

40 Típicamente, la formación del hilo resulta de un haz de nanotubos que posteriormente pueden hilarse apretadamente en un hilo torcido. Alternativamente, un giro principal del hilo puede anclarse en algún punto dentro del sistema 10 y los nanotubos recogidos pueden enrollarse en el hilo torcido. Ambos modos de cultivo pueden implementarse en relación con la presente invención.

45 El miembro conductor 42 puede fabricarse a partir de uno de carbón, cobre, plata, nitruro de boro, boro,  $\text{MoS}_2$ , o una combinación de los mismos. Además, el material a partir del cual puede fabricarse el miembro conductor 42 puede incluir, en una modalidad, grafito de cualquier tipo, por ejemplo, tal como el de fibras de pirógrafo. El miembro conductor 42 puede diseñarse para transmitir señales eléctricas tales como CA, CC, baja potencia o alta potencia. En una modalidad, el miembro conductor 42 puede variar de aproximadamente 1 a aproximadamente 3 por ciento en peso de toda la estructura. Por supuesto, este intervalo es solo para fines ilustrativos, y se puede emplear un intervalo más pequeño o más grande.

#### Láminas de fabricación

55 Con referencia ahora a la Figura 9, se ilustra un sistema 10 (que no forma parte de la presente invención), similar al descrito en la Solicitud de Patente de Estados Unidos con número de serie 11/488,387, para su uso en la fabricación de nanotubos. El sistema 10, en una modalidad, puede acoplarse a una cámara de síntesis 11. La cámara de síntesis 11, en general, incluye un extremo de entrada 111, en el que pueden suministrarse gases de reacción (es decir, fuente de carbón gaseoso), una zona caliente 112, donde puede ocurrir la síntesis de los nanotubos de longitud extendida 113, y un extremo de salida 114 desde el cual los productos de la reacción, específicamente los nanotubos y gases de escape, pueden salir y recolectarse. La cámara de síntesis 11, en una modalidad, puede incluir un tubo de cuarzo 115 que se extiende a través de un horno 116. Los nanotubos generados por el sistema 10, por otro lado, pueden ser nanotubos de pared única individuales, haces de dichos nanotubos y/o nanotubos de pared única entrelazados (por ejemplo, cuerdas de nanotubos).

65 El sistema 10, en una modalidad de la presente invención, puede además incluir un alojamiento 12 diseñado para ser sustancialmente hermético, para minimizar la liberación de partículas transportadas por el aire potencialmente peligrosas

desde dentro de la cámara de síntesis 11 hacia el entorno. El alojamiento 12 puede además actuar para evitar que entre oxígeno en el sistema 10 y contacte la cámara de síntesis 11. En particular, la presencia de oxígeno dentro de la cámara de síntesis 11 puede afectar la integridad y puede comprometer la producción de los nanotubos 113.

5 El sistema 10 también puede incluir una cinta móvil 120, posicionada dentro del alojamiento 12, diseñada para recoger los nanotubos sintetizados 113 fabricados a partir de un proceso CVD dentro de la cámara de síntesis 11 del sistema 10. En particular, la cinta 120 puede usarse para permitir que los nanotubos recogidos en la misma formen subsecuentemente una estructura extensible sustancialmente continua 121, por ejemplo, una lámina tejida o no tejida. Dicha lámina 26 puede generarse a partir de nanotubos 113, haces de nanotubos o nanotubos entrelazados compactados, sustancialmente no  
10 alineados y entremezclados, (por ejemplo, cuerdas de nanotubos), con suficiente integridad estructural para ser manipulados como una lámina 26.

Para recoger los nanotubos fabricados 113, la cinta 120 puede posicionarse adyacente al extremo de salida 114 de la cámara de síntesis 11 para permitir que los nanotubos se depositen en la cinta 120. En una modalidad, la cinta 120 puede posicionarse sustancialmente paralela al flujo de gas desde el extremo de salida 114, como se ilustra en la Figura 8. Alternativamente, la cinta 120 puede posicionarse sustancialmente perpendicular al flujo de gas desde el extremo de salida 114 y puede ser de naturaleza porosa para permitir que el flujo de gas que transporta los nanomateriales pase a través del mismo. La cinta 120 puede diseñarse como un bucle continuo, similar a una cinta transportadora convencional. Para ello, la cinta 120, en una modalidad, puede envolverse alrededor de elementos giratorios opuestos 122 (por ejemplo, rodillos) y puede accionarse por un dispositivo mecánico, tal como un motor eléctrico. Alternativamente, la cinta 120 puede ser un cilindro rígido. En una modalidad, el motor puede controlarse mediante el uso de un sistema de control, tal como un ordenador o microprocesador, de manera que la tensión y la velocidad puedan optimizarse.

Con relación a la Figura 9, el sistema 20 (que no forma parte de la presente invención) puede incluir un aplicador de presión, tal como un rodillo 25, situado adyacente a la cinta 24 para aplicar una fuerza de compactación (es decir, presión) sobre los nanomateriales recogidos. En particular, a medida que los nanomateriales se transportan hacia el rodillo 25, los nanomateriales en la cinta 24 pueden forzarse para moverse debajo y contra el rodillo 25, de manera que pueda aplicarse presión a los nanomateriales entremezclados mientras los nanomateriales se compactan entre la cinta 24 y el rodillo 25 en una lámina coherente sustancialmente unida 26. Para aumentar la presión contra los nanomateriales en la cinta 24, puede posicionarse una placa 244 detrás de la cinta 24 para proporcionar una superficie dura contra la cual puede aplicarse la presión del rodillo 25. Se debe señalar que el uso del rodillo 25 puede no ser necesario si los nanomateriales recogidos son abundantes y están lo suficientemente entremezclados, de manera que exista una cantidad adecuada de sitios de contacto para proporcionar la fuerza de unión necesaria para generar la lámina 26.

35 Para desacoplar la lámina 26 de los nanomateriales entremezclados de la cinta 24 para su posterior retiro del alojamiento 22, puede proporcionarse un bisturí o una cuchilla 27 aguas abajo del rodillo 25 con su borde contra la superficie 245 de la cinta 24. De esta manera, a medida que la lámina 26 se mueve aguas abajo más allá del rodillo 25, la cuchilla 27 puede actuar para levantar la lámina 26 de la superficie 245 de la cinta 24.

40 Adicionalmente, puede proporcionarse un carrete o rodillo 28 aguas abajo de la cuchilla 27, de manera que la lámina desacoplada 26 pueda dirigirse posteriormente sobre el mismo y enrollarse sobre el rodillo 28 para su recolección. A medida que la lámina 26 se enrolla alrededor del rodillo 28, se puede formar una pluralidad de capas. Por supuesto, pueden usarse otros mecanismos, siempre que la lámina 26 pueda recogerse para retirarla del alojamiento 22 a partir de ahí. El rodillo 28, como la cinta 24, puede accionarse, en una modalidad, por un accionamiento mecánico, tal como un motor eléctrico 281, de manera que su eje de rotación puede ser sustancialmente transversal a la dirección del movimiento de la lámina 26. En una modalidad alternativa, una cuchilla no tiene que estar en uso para retirar la lámina 26. Más bien, la remoción de la lámina 26 puede ser manual o mediante otros métodos conocidos en la técnica.

50 Para minimizar la unión de la lámina 26 a sí misma a medida que se enrolla alrededor del rodillo 28, puede aplicarse un material de separación 29 (ver la Figura 10) en un lado de la lámina 26 antes de que se enrolle la lámina 26 alrededor del rodillo 28. El material de separación 29 puede ser una de varias láminas de metal o polímeros disponibles comercialmente que pueden suministrarse en un rollo continuo 291. Para ello, puede tirarse del material de separación 29 junto con la lámina 26 sobre el rodillo 28 mientras se enrolla la lámina 26 alrededor del rodillo 28. Se debe señalar que el polímero que comprende el material de separación 29 puede proporcionarse en una lámina, líquido o cualquier otra forma, siempre que pueda aplicarse a un lado de la lámina 26. Además, dado que los nanotubos entremezclados dentro de la lámina 26 pueden contener nanopartículas catalíticas de un material ferromagnético, tal como Fe, Co, Ni, etcétera, el material de separación 29, en una modalidad, puede ser un material no magnético, por ejemplo, conductor o de cualquier otra manera, para evitar que la lámina 26 se pegue fuertemente al material de separación 29. En una modalidad alternativa, un material de separación puede no ser necesario.

60 Una vez que se genera una lámina 26, la lámina 26 puede someterse a tratamiento para aumentar la conductividad y la productividad. El tratamiento de una lámina 26 después de la formación puede, en una modalidad, incluir someter la lámina 26 a un agente de protonación. Una característica del agente de protonación puede ser acercar los nanotubos de carbón entre sí. Al acercar los nanotubos de carbón, el agente de protonación puede actuar para reducir la tensión superficial, reducir la resistividad y aumentar la conductividad de la lámina 26. Los ejemplos de un agente de protonación pueden incluir un ácido tal como ion hidronio, ácido clorhídrico, ácido bromhídrico, ácido fluorhídrico, ácido yodhídrico,

ácido carbónico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fluorosulfúrico, ácido clorosulfónico, ácido metanosulfónico, ácido trifluorometano sulfónico, ácido sulfúrico fumante, un agente de los mismos, o una combinación de los mismos, u otros materiales capaces de ser conductores eléctricos y/o térmicos.

5 El tratamiento de la lámina 26 puede incluir alternativamente pulverizar la lámina 26 con una solución a medida que sale del horno y se recoge en la cinta. La solución puede contener compuestos que cubren la superficie exterior de los nanotubos de tal manera que mejore la alineación de los nanotubos de carbón y permita que los nanotubos de carbón se acerquen más entre sí. La solución puede incluir un solvente, un polímero, un metal, o una de sus combinaciones. Ejemplos de un solvente que puede usarse en relación con la solución incluyen tolueno, queroseno, benceno, hexanos, acetona o cualquier otro solvente. Ejemplos de un polímero que puede usarse en relación con la solución incluye poliuretano, polietileno, poli(estireno butadieno), policloropreno, poli(vinil alcohol), poli(vinil pirrolidona), poli(acrilonitrilo-co-butadieno-co-estireno), epoxi o cualquier polímero. Ejemplos de un metal que puede usarse en relación con la solución incluyen una sal, óxido de metal o cualquier otro metal.

15 Una vez que la lámina 26 se ha tratado, la lámina tratada 26 puede someterse a una fuente de calor para el procesamiento de la lámina 26. Por ejemplo, la lámina 26 puede someterse a sinterización, prensado isostático en caliente, prensado en caliente, prensado isostático en frío para obtener una lámina compuesta o la forma deseada del producto final.

20 El tratamiento de la lámina compuesta puede incluir además infundir la lámina compuesta con un material de carbón vítreo para aumentar la integridad estructural de la lámina y proporcionar un acoplamiento de resistencia sustancialmente baja. El carbón vítreo, en general, puede ser una forma de carbón relacionada con los nanotubos de carbón y puede contener una cantidad significativa de cintas similares al grafeno que comprenden una matriz de carbón amorfo. Estas cintas incluyen cintas unidas  $sp^2$  que pueden ser sustancialmente similares a los nanotubos unidos  $sp^2$ . Como resultado, pueden tener una conductividad térmica y eléctrica relativamente buena. Los ejemplos de materiales precursores a partir de los cuales se puede hacer carbón vítreo incluyen alcohol furfúrico, resina RESOL (es decir, alquil-fenil formaldehído catalizado), PVA o resina líquida o cualquier material que se sepa que forma carbón vítreo cuando se trata con calor. Por supuesto, pueden usarse otros materiales de carbón vítreo o materiales precursores disponibles comercialmente.

30 Después de que se genere la lámina compuesta, puede dejarse como una lámina compuesta o puede cortarse en segmentos más pequeños, tales como tiras. Puede usarse un láser para cortar la lámina compuesta en tiras. El haz de láser puede situarse adyacente al alojamiento de manera que el láser puede dirigirse a la lámina compuesta a medida que sale del alojamiento. Puede emplearse un ordenador o programa para controlar el funcionamiento del haz de láser y también el corte de la tira. Un medio mecánico u otro medio conocido en la técnica puede usarse para cortar la lámina compuesta 26 en tiras.

35 Formación del cable

40 Para formar el cable de la presente invención, el miembro conductor 42 puede estar provisto de una capa de protección 44. La capa de protección 44, en una modalidad, puede fabricarse a partir de un material basado en nanoestructura. El material basado en nanoestructura, en una modalidad, puede ser el que está hecho de nanotubos de carbón conductores, por ejemplo, hilos, tiras, cables, cintas o láminas fabricadas a partir de nanotubos de carbón. La capa de protección, por otro lado, puede estar hecha de láminas fabricadas a partir de nanotubos de carbón siempre que el material pueda ser conductor eléctrico y/o térmico. En una modalidad, la capa de protección 44 puede variar de aproximadamente 4 a aproximadamente 7 por ciento en peso de toda la estructura. Por supuesto, este intervalo es solo para fines ilustrativos, y se puede emplear un intervalo más pequeño o más grande. La capa de protección 44, en una modalidad, cuando está acoplada al miembro conductor 42, puede permitir que una alta corriente se dirija desde una fuente a lo largo del miembro conductor 42 a un circuito externo sin degradación sustancial. Esto se debe a que los nanotubos que definen la capa de protección 44 de la presente invención pueden actuar para minimizar las señales de RF u otras ondas electromagnéticas o señales que se filtran hacia o desde el miembro conductor 42. Por supuesto, cualquier otro material disponible comercialmente que pueda actuar para minimizar las señales de RF u otras ondas electromagnéticas o señales que se filtren hacia o desde el miembro conductor 42 puede usarse en lugar de la capa de protección 44.

55 En la medida deseada, el cable coaxial 40 también puede incluir aislamiento para mejorar la conductividad y reducir la resistividad del cable coaxial 40. En una modalidad, el cable coaxial 40 puede incluir al menos una capa de aislamiento 46 situada circunferencialmente entre el miembro conductor 42 y la capa de protección 44. La capa de aislamiento 46 puede estar hecha de una tira de nanotubos de carbón, que se había cortado de una lámina 26, y puede variar de aproximadamente 33 a aproximadamente 37 por ciento en peso de toda la estructura. En una modalidad, el cable coaxial 40 puede incluir además una segunda capa de aislamiento 48 situada circunferencialmente alrededor de la capa de protección 44. La segunda capa de aislamiento 48 puede estar hecha de una tira de nanotubos de carbón, que se había cortado de una lámina 26, y puede variar de aproximadamente 55 a aproximadamente 60 por ciento en peso de toda la estructura. Por supuesto, estos intervalos son solo para fines ilustrativos, y se puede emplear un intervalo menor o mayor. Además, cualquier otro material aislante disponible comercialmente puede usarse en lugar de las capas de aislamiento 46, 48.

65 El cable coaxial 40 puede incluir además un mecanismo de acoplamiento situado entre el miembro conductor 42 y la capa de protección 44, para asegurar la capa de protección 44 en su posición alrededor del miembro conductor 42. En una

modalidad, el mecanismo de acoplamiento puede fabricarse a partir de un material de carbón vítreo capaz de proporcionar un acoplamiento de resistencia sustancialmente baja. El carbón vítreo, en general, puede ser una forma de carbón relacionada con los nanotubos de carbón y puede contener una cantidad significativa de cintas similares al grafeno que comprenden una matriz de carbón amorfo. Estas cintas incluyen cintas unidas  $sp^2$  que pueden ser sustancialmente similares a los nanotubos unidos  $sp^2$ . Como resultado, pueden tener una conductividad térmica y eléctrica relativamente buena. Los ejemplos de materiales precursores a partir de los cuales se puede hacer carbón vítreo incluyen alcohol furfúrico, resina RESOL (es decir, alquil-fenil formaldehído catalizado), PVA o resina líquida o cualquier material que se sepa que forma carbón vítreo cuando se trata con calor. Debe apreciarse que la tendencia de la resina o material de carbón vítreo a "humedecer" los nanotubos en el miembro conductor puede ayudar a recubrir cada nanotubo individual, de manera que cada nanotubo pueda contribuir al transporte de electrones o térmico. Por supuesto, pueden usarse otros materiales de carbón vítreo o materiales precursores disponibles comercialmente. La presencia de un mecanismo de acoplamiento, en una modalidad, puede mejorar la transmisión de corriente a lo largo del miembro conductor 42 sin degradación sustancial.

El miembro conductor 42 y la capa de protección 44 pueden mantenerse luego uno contra el otro, mientras que la unión entre el miembro conductor 42 y la capa de protección 44 puede calentarse a un intervalo de temperatura suficiente para pirolizar el precursor de carbón vítreo para formar un material de carbón vítreo para permite la adhesión y minimiza la delaminación entre el miembro conductor 42 y la capa de protección 44. El material de carbón vítreo puede mejorar aún más la conductividad eléctrica o térmica entre el miembro conductor 42 y la capa de protección 44, proporcionar un contacto sustancialmente uniforme entre el miembro conductor 42 y la capa de protección 44, y proporcionar un acoplamiento de resistencia sustancialmente baja del miembro conductor 42 a la capa de protección 44. En una modalidad, la temperatura mínima de pirólisis debería ser al menos cercana a aproximadamente 400 °C a aproximadamente 450 °C. Si la pirólisis se lleva a cabo en una atmósfera inerte, puede ser necesario que la temperatura sea más alta para permitir que el proceso de pirólisis sea completado. Debe apreciarse que los materiales que pueden ser sensibles a esta temperatura pueden no ser adecuados para esta invención. Además, la pirólisis no necesita completarse para que esta unión ofrezca una resistencia de contacto sustancialmente superior a los medios tradicionales para acoplar miembros conductores.

Además, el mecanismo de acoplamiento puede actuar para maximizar sustancialmente el número de nanoestructuras conductoras dentro del miembro conductor 42 que pueden participar activamente en la conductividad para mejorar la eficiencia del transporte eléctrico y térmico mejorando el número de puntos de contacto entre nanotubos adyacentes. El cable coaxial 40 de la presente invención, por lo tanto, puede usarse para permitir una conducción eficiente a un conector estándar para su uso en un sistema de circuito eléctrico y/o térmico tradicional. En particular, el cable coaxial 40 puede permitir una interacción eficiente, por ejemplo, a través de conducción eléctrica y/o térmica, entre un entorno a nanoescala y el sistema tradicional de circuito eléctrico y/o térmico.

La Figura 11 ilustra otra modalidad del cable conductor 60 de la presente invención. Como se muestra, el cable 60 puede ser un cable de par trenzado 60. El cable 60, en una modalidad, puede incluir un primer cable 62 y un segundo cable 64 enrollado uno alrededor del otro. Una lámina nanoestructurada, como la proporcionada anteriormente, puede estar situada circunferencialmente alrededor del cable de par trenzado 60. Por supuesto, el número de cables usados para crear el cable de par trenzado 60 puede variar. Por ejemplo, pueden usarse tres o cuatro cables.

Para fines de comparación, las propiedades de resistencia para un cable de la presente invención se comparan con aquellas propiedades exhibidas por alambres de cobre o hilos de Litz. Como se ilustra en la Figura 12, las resistencias por unidad de longitud disminuyen sustancialmente para un cable de la presente invención a frecuencias bastante moderadas de aproximadamente 1 MHz.

Se debe señalar que la frecuencia de un cable de la presente invención puede depender, en parte, del grosor del cable. Para cables conductores de cinta plana, por ejemplo, a medida que aumenta el grosor del cable, la frecuencia disminuye como se ilustra en la Figura 13.

Con fines ilustrativos, las propiedades de resistencia frente a corriente para un cable fabricado de acuerdo con una modalidad de la presente invención en comparación con las propiedades exhibidas por alambres de cobre o hilos de Litz como se muestra en la Figura 14.

Además, las propiedades de corriente frente a temperatura para un cable de la presente invención se ilustran en la Figura 15.

#### Aplicaciones

Se puede proporcionar un cable de la presente invención en diversas disposiciones. Debido a la ligereza de los nanotubos de carbón fabricados de acuerdo con la presente invención, un cable fabricado de acuerdo con la presente invención puede proporcionar ahorros de peso significativos de hasta aproximadamente un cincuenta por ciento en comparación con los cables convencionales. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 1, un cable puede tomar la forma de un cable coaxial 40. El ahorro en peso para un cable coaxial en comparación con un cable normal es de aproximadamente 9,4 lbs/1000 pies de cable, lo que representa un ahorro de 40,8%. Como se muestra en la Figura 11, un cable puede tomar

la forma de un cable de par trenzado 50. El ahorro en peso para un cable 50 de par trenzado es de aproximadamente 7,9 lbs/1000 pies de cable, lo que representa un ahorro de aproximadamente 37,3%. Alternativamente, el cable puede tomar la forma de una cinta plana. Debe apreciarse que estas disposiciones no están destinadas a ser limitantes ya que pueden existir otras disposiciones.

5

Los cables de la presente invención, en una modalidad, pueden estar dispuestos como un mazo de cables 70, como se muestra en la Figura 16. Los mazos de cables 70 pueden variar en forma, tamaño y configuración. Los mazos de cables 70 pueden resultar en ahorros de peso significativos que pueden resultar en ahorros de costos. El ahorro en peso para un satélite, por ejemplo, debido al uso del mazo de cables 70 contribuirá a un ahorro de costos significativo por lanzamiento al usar un mazo de cables como el de la presente solicitud. El ahorro en peso para un avión civil o de combate, de manera similar, resultaría en un ahorro en peso y costo por vuelo debido al uso del mazo de cables.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un cable que comprende:  
 5 un miembro conductor fabricado a partir de un material basado en nanoestructura definido por hilos fabricados a partir de nanotubos y en donde el hilo resulta de un haz de nanotubos que posteriormente pueden hilarse apretadamente en un hilo torcido;  
 una capa de protección fabricada a partir de una lámina de nanotubos y situada circunferencialmente alrededor del miembro conductor; y  
 10 un mecanismo de acoplamiento situado entre la capa de protección y el miembro conductor en donde el mecanismo de acoplamiento comprende un material de carbón vítreo.
2. Un cable como se establece en la reivindicación 1, en donde el miembro conductor es aproximadamente 1 por ciento en peso.
- 15 3. Un cable como se establece en la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la capa de protección varía del 5 al 7 por ciento en peso.
4. Un cable como se establece en cualquier reivindicación anterior, que tiene además una primera capa de aislamiento situada circunferencialmente entre el miembro conductor y la capa de protección.
- 20 5. Un cable como se establece en la reivindicación 4, en donde la primera capa de aislamiento varía del 33 al 37 por ciento en peso.
6. Un cable como se establece en cualquier reivindicación anterior, que además tiene una segunda capa de aislamiento situada circunferencialmente alrededor de la capa de protección.
- 25 7. Un cable como se establece en la reivindicación 6, en donde la segunda capa de aislamiento varía del 55 al 60 por ciento en peso.
- 30 8. Un cable como se establece en cualquier reivindicación anterior, en donde el material de carbón vítreo se genera a partir de un material precursor que incluye uno de alcohol furfúrico, resina RESOL, PVA u otra resina líquida o materiales capaces de formar un material de carbón vítreo.
- 35 9. Un cable como se establece en la reivindicación 1, diseñado para su uso en una de las aplicaciones de RF, aplicaciones EMI, aplicaciones EMP, transmisión de altas corrientes o resistencia a la caída de rayos.
10. Un cable como se establece en la reivindicación 1, diseñado para su uso en una de conducción térmica, conducción eléctrica, aplicaciones pulsadas, aplicaciones termoeléctricas o generación de energía.
- 40 11. Un método para fabricar un cable, el método comprende:  
 proporcionar un miembro conductor fabricado a partir de un material basado en nanoestructura definido por hilos fabricados a partir de nanotubos y en donde el hilo resulta de un haz de nanotubos que posteriormente pueden hilarse apretadamente en un hilo torcido;  
 45 colocar una capa de protección fabricada a partir de una lámina de nanotubos circunferencialmente alrededor del miembro conductor; y  
 aplicar un mecanismo de acoplamiento entre la capa de protección y el miembro conductor en donde el mecanismo de acoplamiento comprende un material de carbón vítreo.
12. Un método como se establece en la reivindicación 11, en donde, en la etapa de proporcionar, incluye unir una pluralidad de hilos fabricados a partir de nanotubos para crear un miembro conductor.
13. Un método como se establece en la reivindicación 11, que incluye además colocar una primera capa de aislamiento circunferencialmente alrededor de la capa de protección.
- 55 14. Un método como se establece en la reivindicación 11, que incluye además colocar una segunda capa de aislamiento circunferencialmente alrededor de la capa de protección.
15. Un método como se establece en la reivindicación 11, en donde la etapa de aplicar el mecanismo de acoplamiento implica aplicar un precursor de carbón vítreo seleccionado del grupo que consiste en: alcohol furfúrico, resina RESOL, PVA y otra resina líquida o materiales capaces de formar un material de carbón vítreo.
- 60 16. Un método como se establece en la reivindicación 15, que incluye además calentar la unión entre la lámina y el hilo para pirolizar el precursor de carbón vítreo para formar un material de carbón vítreo.

17. Un método como se establece en la reivindicación 16, en donde la etapa de calentamiento incluye elevar la temperatura en la unión a un intervalo de 400 °C a 450 °C o más para permitir que el proceso de pirólisis se complete.

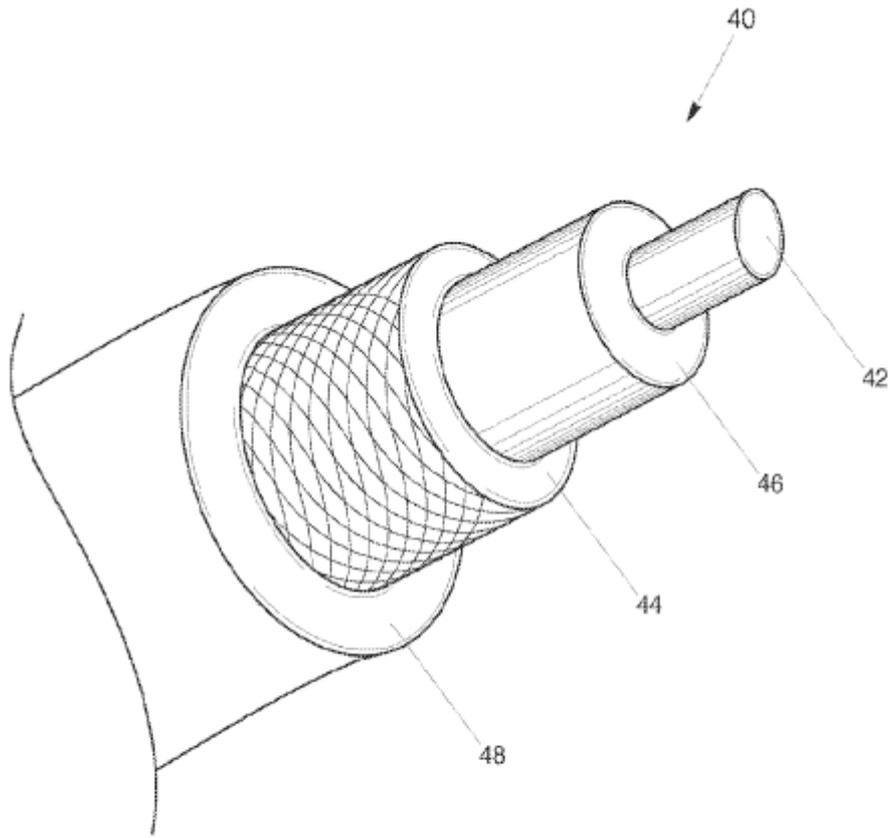


Fig. 1

Diámetro de 2 mm de Cu, Litz y CNT. Diámetro de hilo de Litz = 0,016 mm. Hilo de CNT = 1 nm

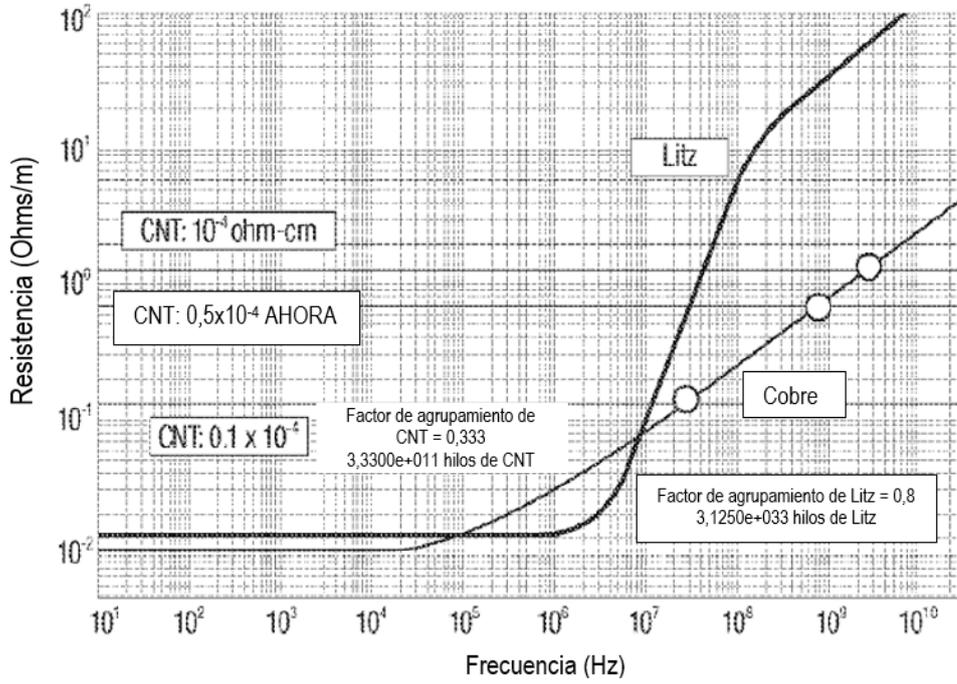


Fig. 2

Cu vs. CNT. Materiales de 1 m de longitud

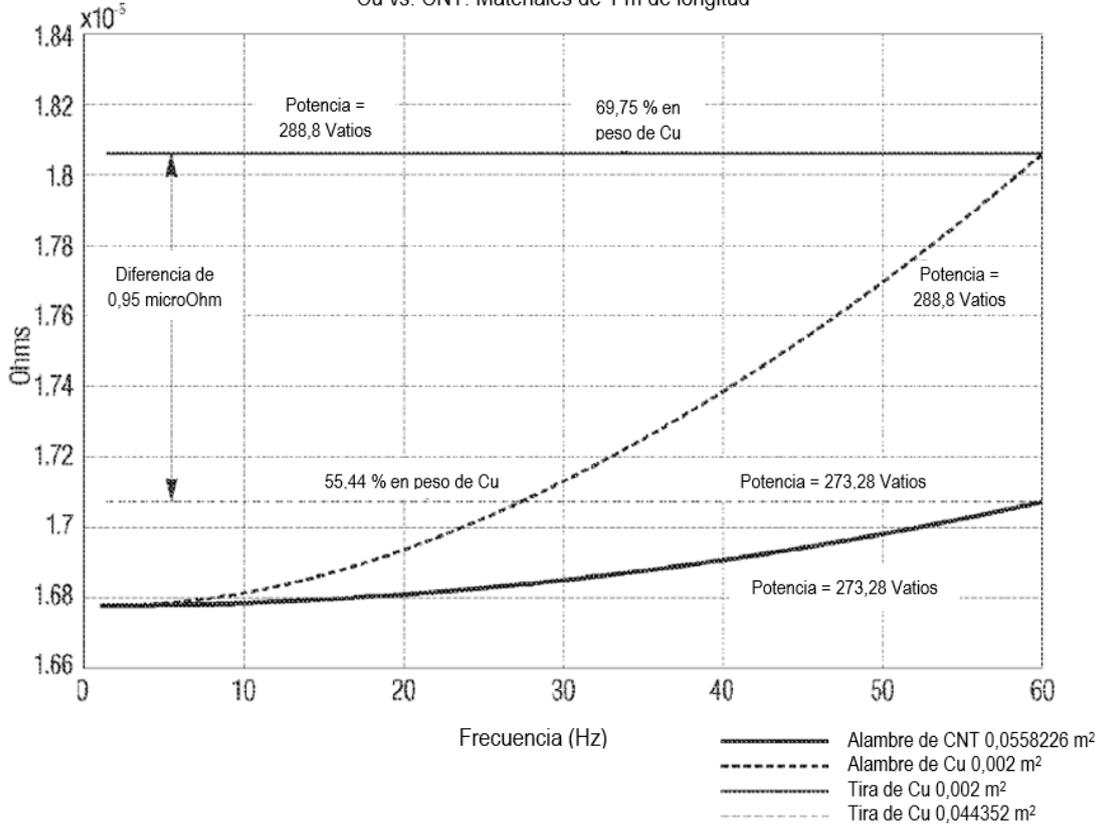


Fig. 3

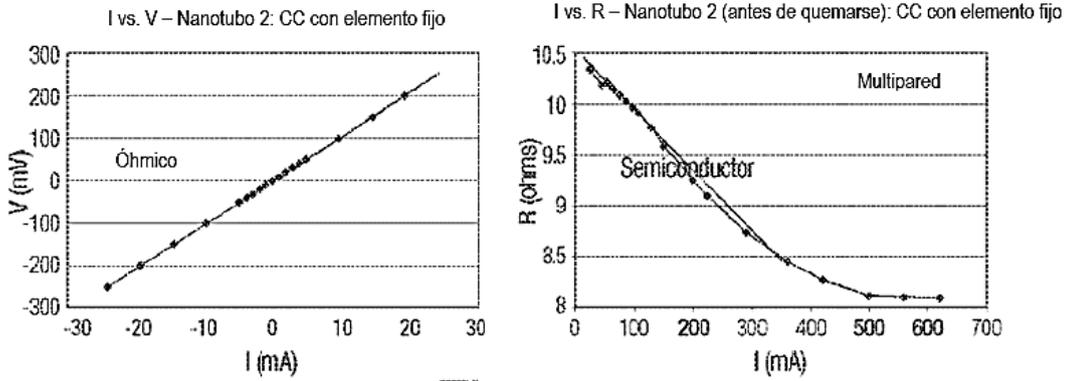


Fig. 4

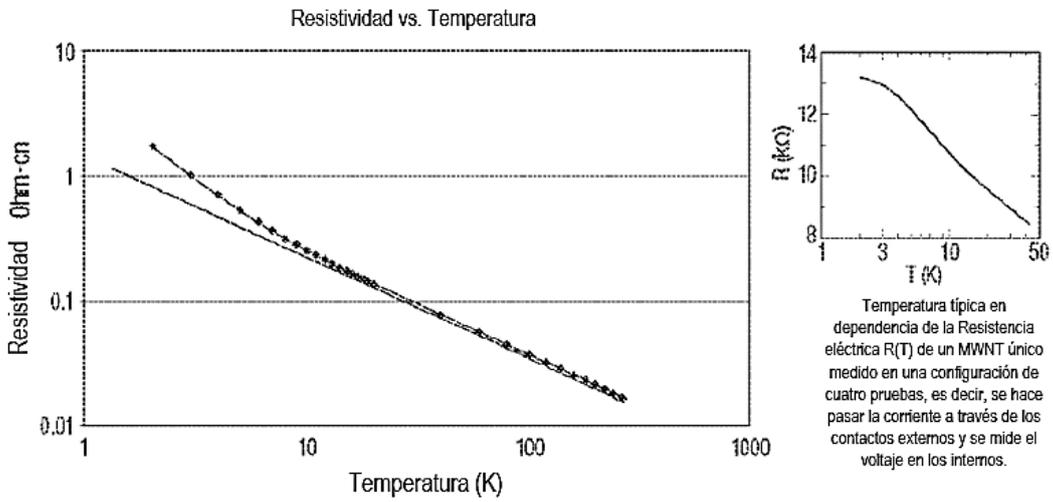


Fig. 5

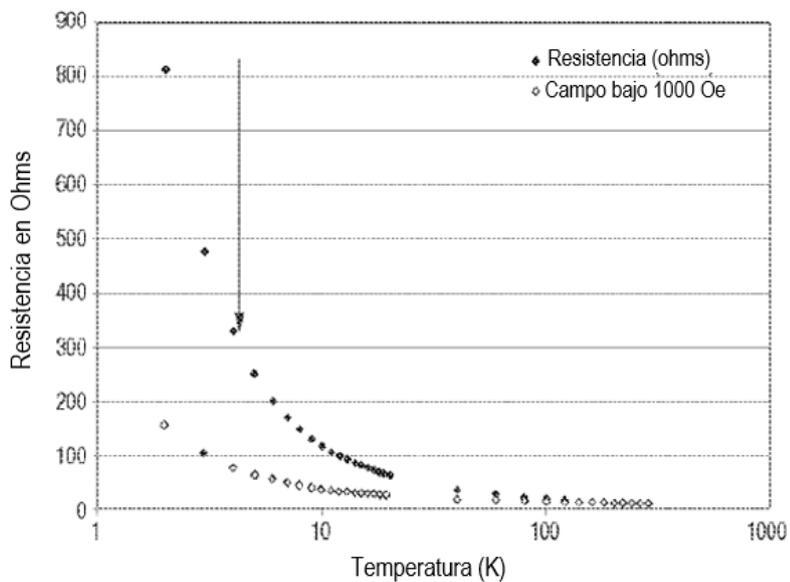


Fig. 6

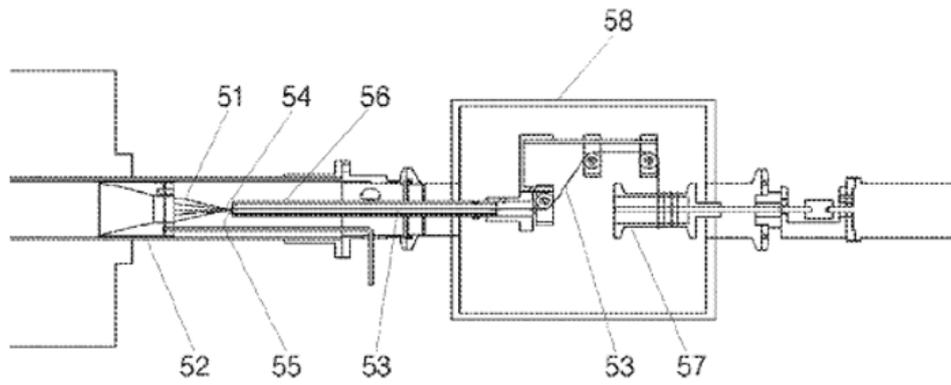


Fig. 7

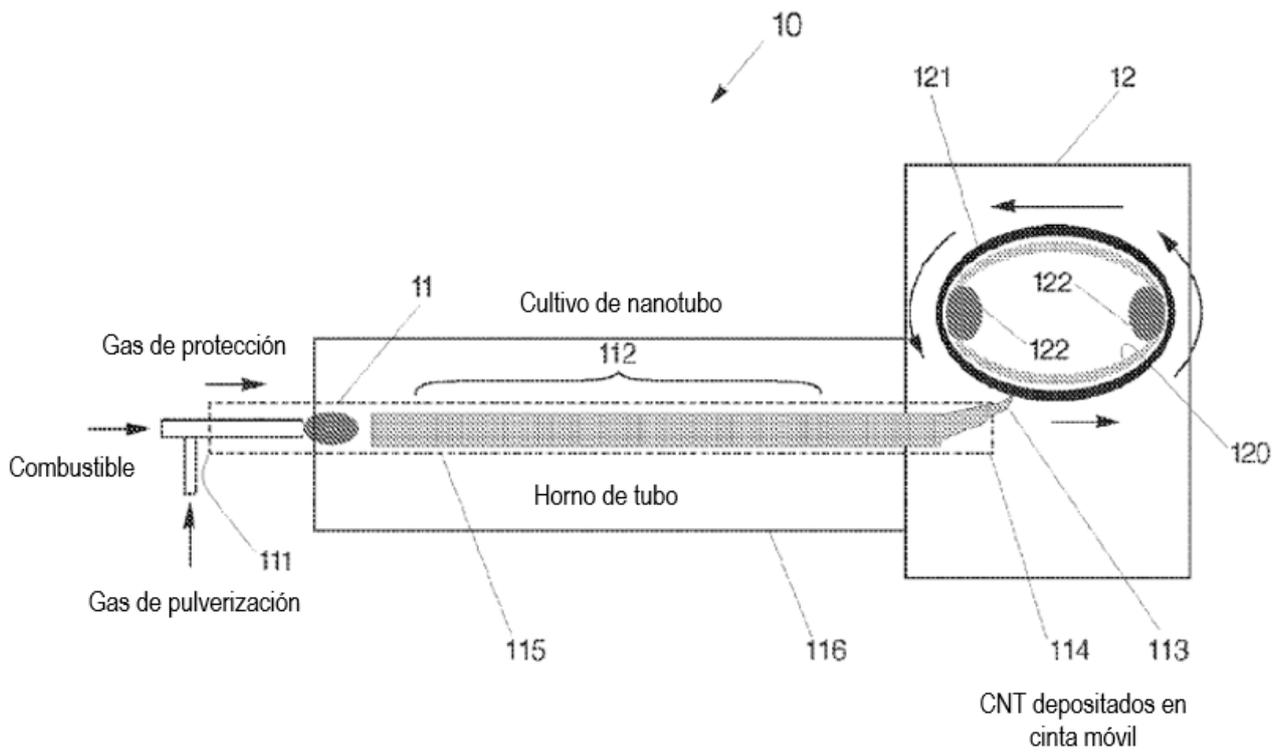


Fig. 8

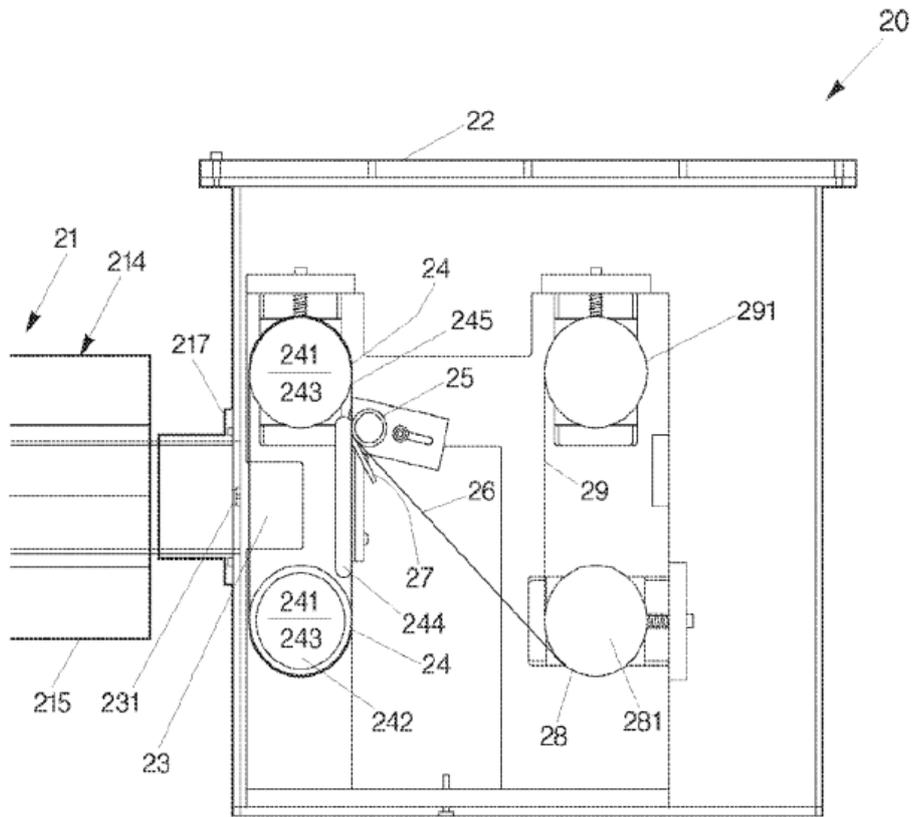


Fig. 9

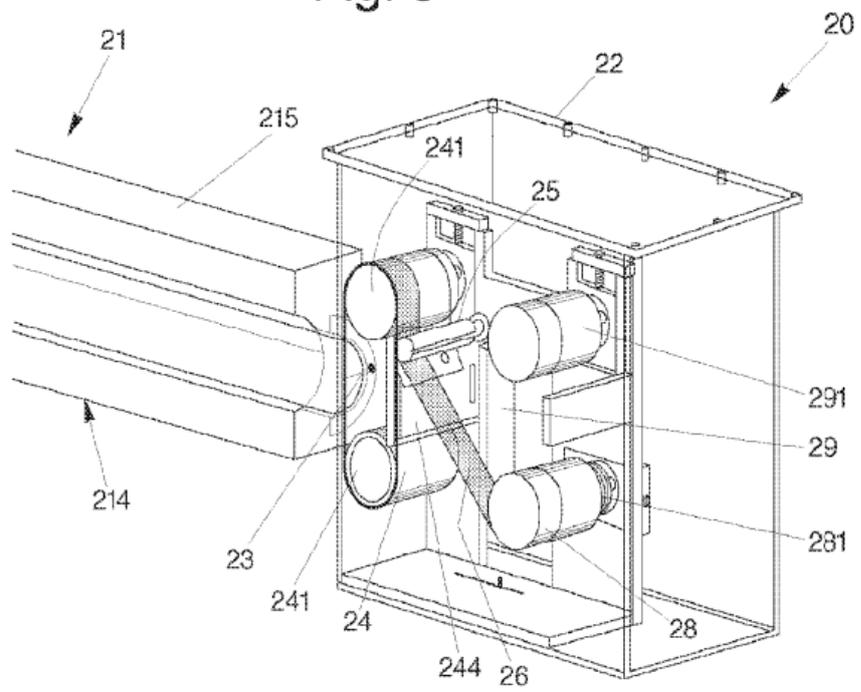


Fig. 10

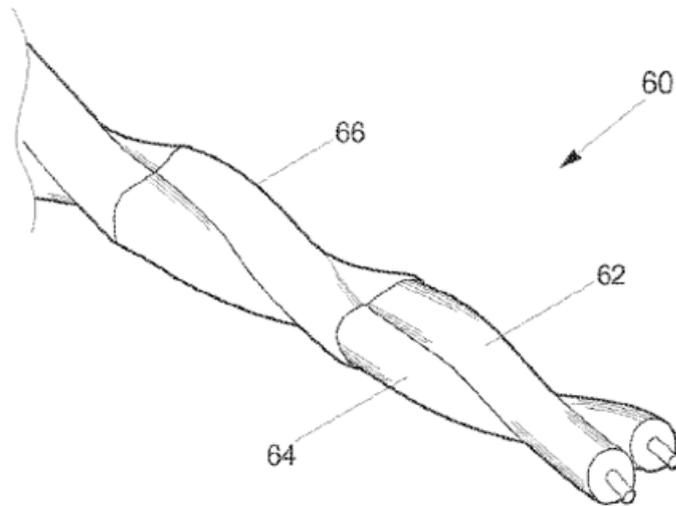


Fig. 11

Resistencia normalizada vs. Frecuencia de 0 a 25 MHz de Litz, Cu y CNT

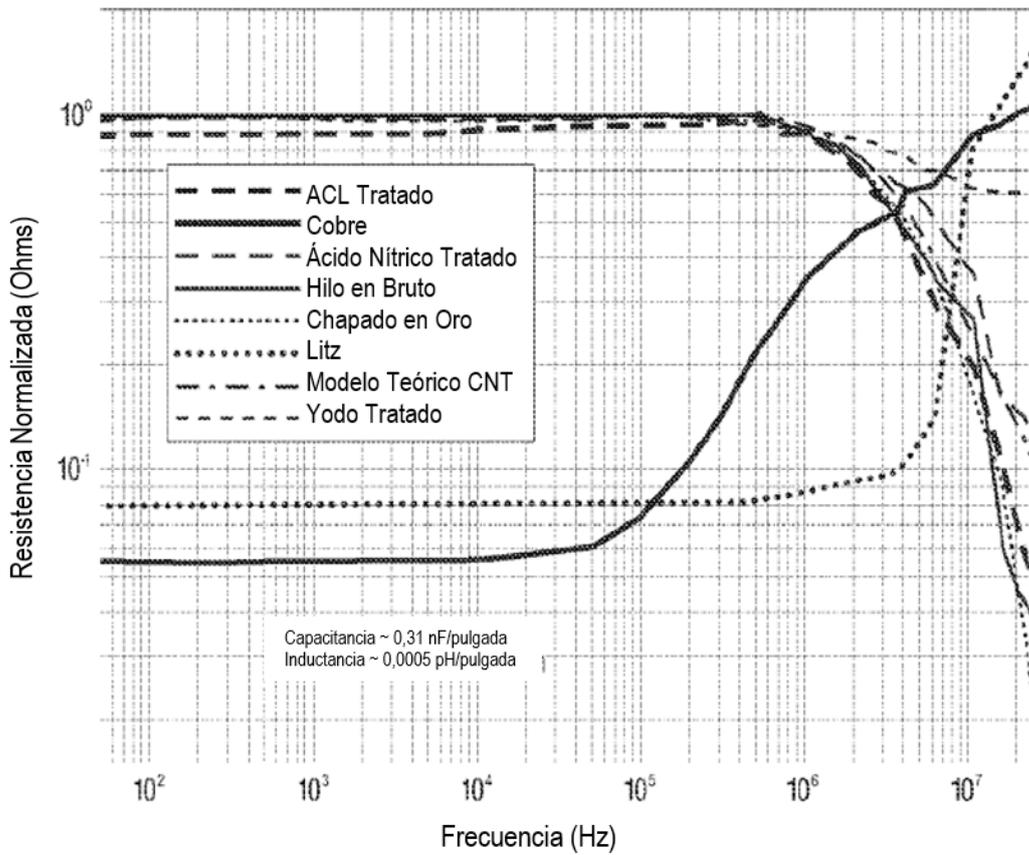


Fig. 12

Cu y CNT con áreas de sección transversal iguales.  
 Y Cu y CNT con área de sección transversal de CNT 40x la de Cu. Cada una de 10 cm de ancho.

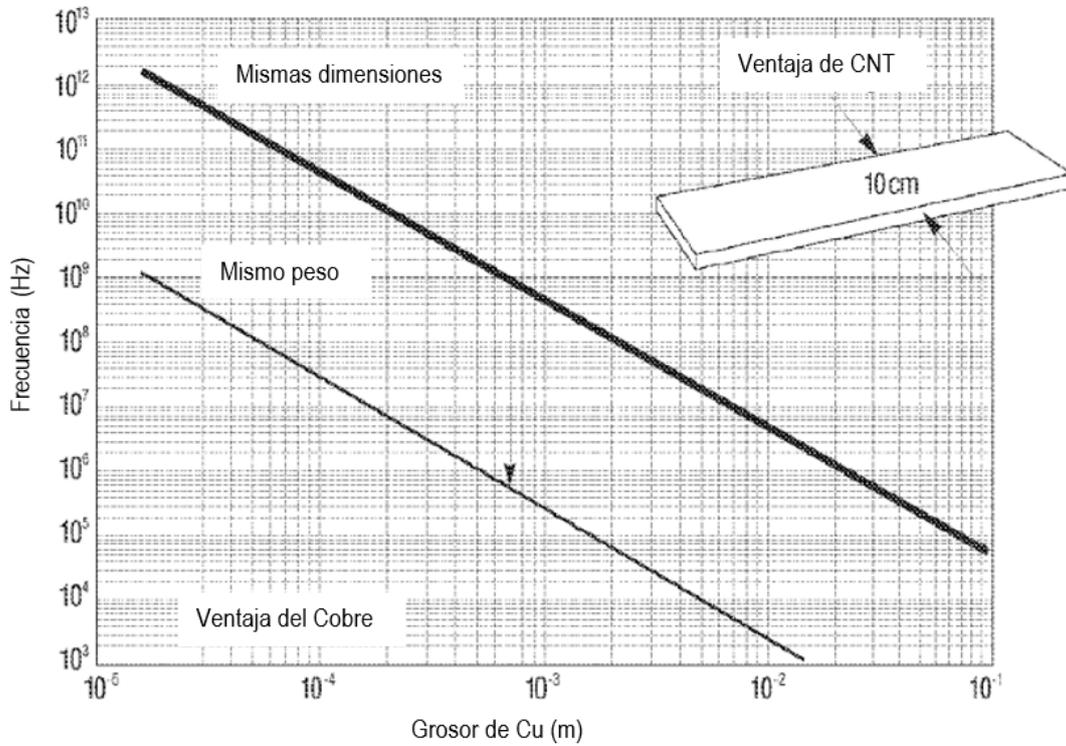


Fig. 13

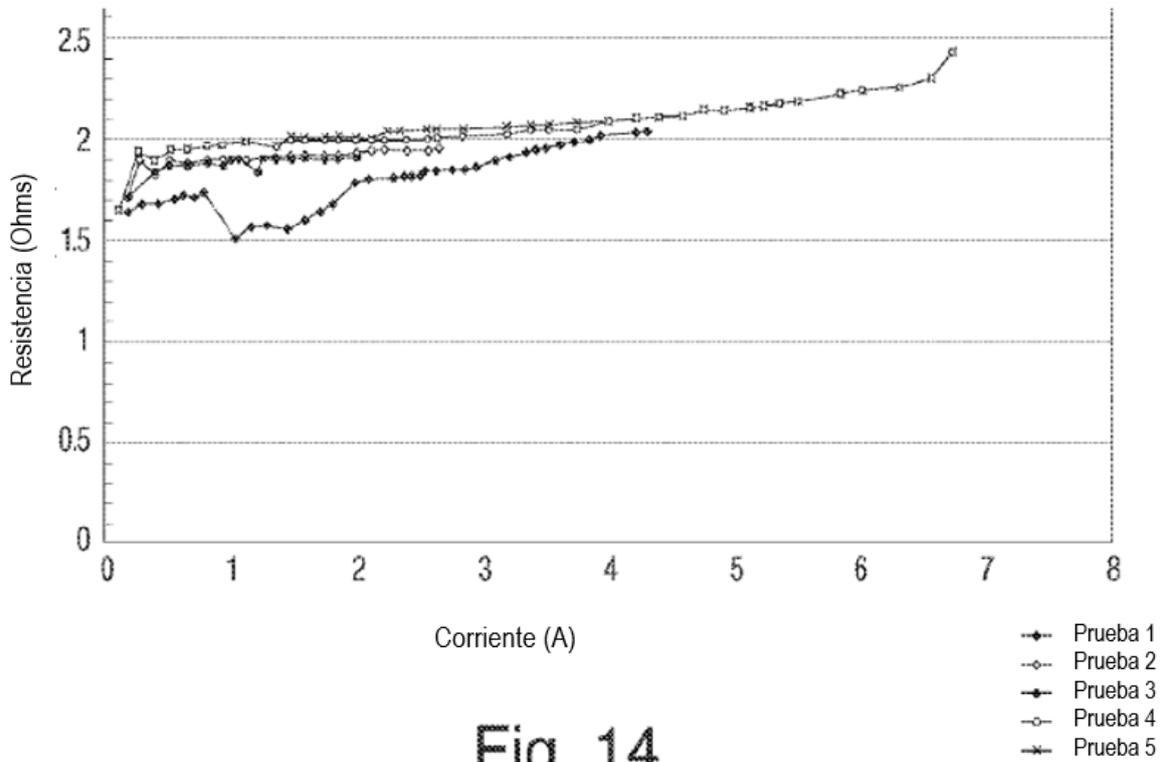


Fig. 14

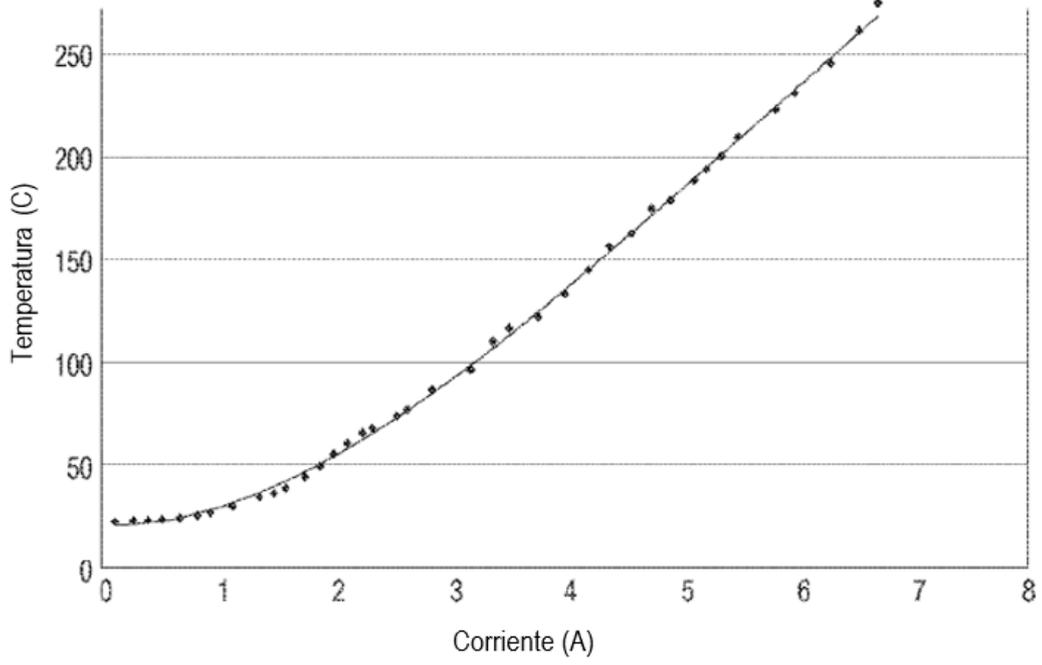


Fig. 15

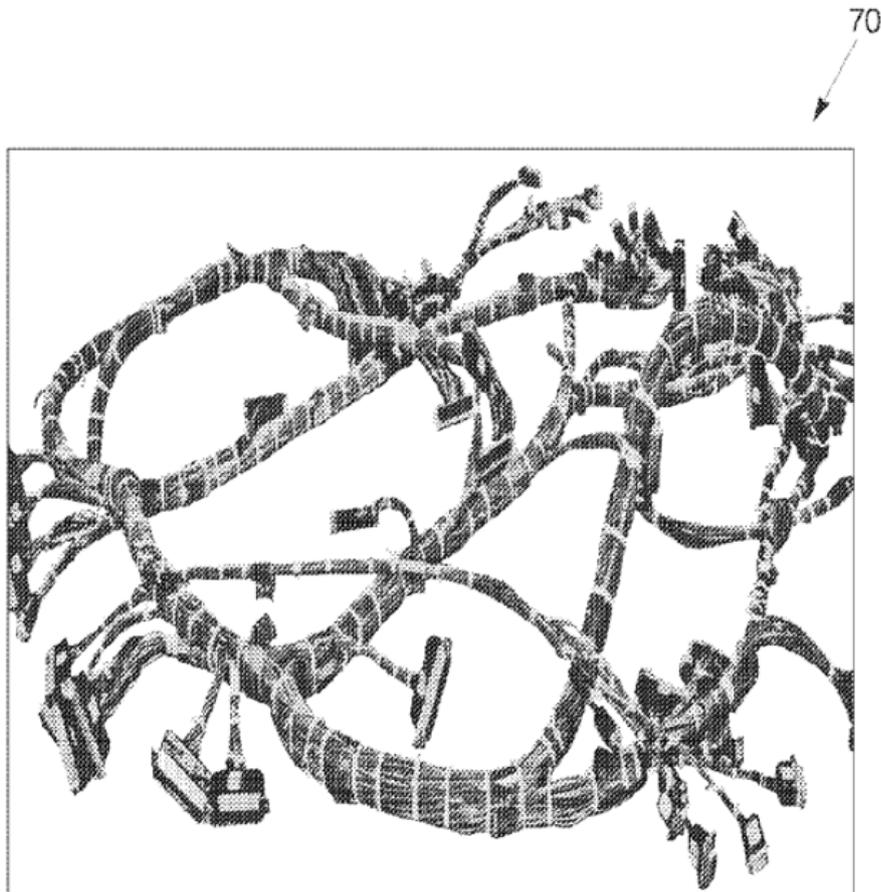


Fig. 16