

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 036**

51 Int. Cl.:

**H02K 55/04** (2006.01)

**H02K 3/04** (2006.01)

**H02K 7/18** (2006.01)

**H01L 39/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2013 PCT/US2013/034059**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2013 WO13148811**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2013 E 13714832 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2018 EP 2831987**

54 Título: **Conductor eléctrico ancho con resistencia elevada en el eje C**

30 Prioridad:

**30.03.2012 US 201213435156**

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

**27.03.2018**

73 Titular/es:

**AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION  
(100.0%)**

**64 Jackson Road  
Devens, MA 01434, US**

72 Inventor/es:

**TANNER, MICHAEL A.;  
SNITCHLER, GREGORY L.;  
CARTER, WILLIAM L. y  
PODTBURG, ERIC R.**

74 Agente/Representante:

**SALVA FERRER, Joan**

ES 2 661 036 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

Conductor eléctrico ancho con resistencia elevada en el eje C

## 5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0001] La generación eléctrica sigue siendo una aplicación importante de las máquinas eléctricas rotativas. La energía eólica es una de las fuentes de electricidad de mayor crecimiento en todo el mundo, y los aerogeneradores que emplean máquinas eléctricas rotativas se utilizan para convertir la energía eólica en energía  
10 utilizable. Algunos aerogeneradores convencionales incluyen un rotor de turbina con palas de turbina y un eje de transmisión que acciona una máquina eléctrica que puede suministrar 3-5 megavatios de energía a la red eléctrica de servicios públicos. Sin embargo, el aumento de la demanda de energía está dando lugar a un aumento de los requerimientos de potencia para cada aerogenerador. Para obtener un aerogenerador que puede distribuir 10 megavatios o más, una mera ampliación del tamaño del tren de potencia engranado se vuelve poco factible, debido  
15 al menos en parte al tamaño, peso, costo y su posible falta de fiabilidad de un engranaje que pueda cumplir con estos requisitos.

[0002] Se proponen devanados de bobina superconductores a alta temperatura (SAT) para su uso en generadores de accionamiento directo a velocidad ultra baja para aerogeneradores que pueden producir energía a  
20 niveles de 10 megavatios (MW) o más. A fin de lograr la producción de energía en esta tasa, la mejora de conductores eléctricos SAT utilizados para formar el devanado de bobina puede ser necesaria.

[0003] El diseño y la fabricación de conductores eléctricos SAT para su uso en aplicaciones de cables de transmisión eléctrica se ha centrado en proporcionar un cable con una transmisión de alta corriente y baja pérdida,  
25 continua a grandes distancias, así como proporcionar un cable con cierta flexibilidad. Las técnicas de diseño y fabricación para la formación de conductores eléctricos SAT también se utilizan para formar conductores eléctricos utilizados en devanados de bobina de generadores utilizados en aplicaciones de generación eléctrica. Sin embargo, puesto que la disposición y condiciones de carga de un conductor eléctrico en uso en un cable de transmisión eléctrica son bastante diferentes de las de un conductor en un devanado de bobina de generador, se requieren  
30 conductores eléctricos SAT adaptados para su uso en devanados de bobina.

[0004] Hasegawa y col: "Fabrication and properties of Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub> multilayer superconducting tapes and coils", IEEE Transactions on applied superconductivity, vol. 7, n.º 2, 1997 describen un procedimiento de fabricación de una cinta superconductora flexible.  
35

[0005] El documento US 6 784 362 B1 se refiere a superconductores cerámicos encapsulados poliméricos.

[0006] El documento WO 01/56128 A2 describe procedimientos de preparación de materiales compuestos superconductores para el sellado hermético. El documento JP 2008 243588 describe un material metálico  
40 superconductor de óxido. En el documento US 2010/075857 A1, se describe una cinta superconductora que mantiene tanto una alta tensión permisible como una baja resistencia de empalme. El documento EP 2 050 104 A2 se refiere a conductores flexibles que transportan una alta corriente que contienen materiales superconductores a alta temperatura. El documento WO 2012/039444 A1 enseña un material metálico superconductor de óxido. El documento WO 2007/016492 A2 describe un cable superconductor laminado con un conjunto de cables  
45 superconductores.

## RESUMEN

[0007] Según la invención, se proporciona un conductor eléctrico laminado con las características de la  
50 reivindicación 1 de patente.

En algunos aspectos, un conductor eléctrico laminado tiene un eje A que se extiende en una dirección correspondiente a una longitud del conductor, y un eje B transversal al eje A. El eje B se extiende en una dirección correspondiente a una anchura del conductor. El conductor tiene eje c transversal tanto al eje A como al eje B, el eje  
55 C se extiende en una dirección correspondiente a un espesor del conductor. El conductor eléctrico laminado incluye una primera lámina de soporte que tiene una anchura correspondiente a la anchura del conductor eléctrico laminado; una segunda lámina de soporte dispuesta en una configuración en capas a lo largo del eje C con respecto a la primera lámina de soporte; un inserto que incluye un superconductor a alta temperatura dispuesto entre la primera lámina de soporte y la segunda lámina de soporte; y un material de relleno que rodea el inserto que une el inserto a

cada una de las primeras láminas de soporte y a las segundas láminas de soporte. En la ubicación entre la primera lámina de soporte y la segunda lámina de soporte correspondiente a la ubicación del inserto, la dimensión de anchura del material de relleno a cada lado del inserto es al menos 10 por ciento de una anchura del conductor eléctrico laminado.

5

El conductor eléctrico laminado puede incluir una o más de las siguientes características: el material de relleno es una soldadura. Al menos una de las primeras láminas de soporte y las segundas láminas de soporte está formada por un material eléctricamente conductor. La primera lámina de soporte está formada por un material diferente al de la segunda lámina de soporte. El conductor eléctrico laminado incluye además un segundo inserto que incluye un

10 superconductor a alta temperatura dispuesto entre la primera lámina de soporte y la segunda lámina de soporte. Al menos una de las primeras láminas de soporte y las segundas láminas de soporte tiene una anchura de al menos 12 mm y el inserto tiene una anchura de al menos 9 mm. Al menos una de las primeras láminas de soporte y las segundas láminas de soporte tiene una anchura de al menos 16 mm, y el inserto tiene una anchura de al menos 11,8 mm. La resistencia a la tracción en el eje C del conductor eléctrico laminado es con fiabilidad de al menos 21 MPa, donde la expresión "con fiabilidad de al menos 21 MPa" se refiere a un conductor con datos de ensayo de tracción en el eje C se encuentran dentro de tres desviaciones típicas de una media de datos de ensayo de tracción en el eje C y la diferencia entre la media de datos de ensayo de tracción en el eje C y tres desviaciones típicas de la media de datos de ensayo de tracción es de al menos 21 MPa.

20 **[0008]** En algunos aspectos, se proporciona una máquina rotativa que incluye un conjunto de estatores que incluye al menos un devanado estatórico, y un conjunto de rotores configurado para rotar en el conjunto de estatores alrededor de un eje longitudinal de la máquina rotativa. El conjunto de rotores incluye al menos un devanado rotórico, cada devanado rotórico incluye un único conductor eléctrico laminado. El conductor eléctrico laminado incluye una sección transversal definida por un eje B que se extiende en una dirección correspondiente a una anchura del conductor, y un eje C ortogonal al eje B, el eje C se extiende en una dirección correspondiente a un espesor del conductor, una primera lámina de soporte, una segunda lámina de soporte, un inserto que incluye un superconductor a alta temperatura dispuesto entre la primera lámina de soporte y la segunda lámina de soporte, y un material de relleno que rodea el inserto que une el inserto a cada una de las primeras láminas de soporte y a las segundas láminas de soporte. En la ubicación entre la primera lámina de soporte y segunda lámina de soporte correspondiente a la ubicación del inserto, la dimensión de anchura del material de relleno a cada lado del inserto es de al menos 10 por ciento de una anchura del conductor eléctrico laminado.

35 **[0009]** La máquina eléctrica rotativa puede incluir una o más de las siguientes características: al menos un devanado rotórico está soportado en el conjunto de rotores de modo que el eje B del conductor es paralelo a un radio del conjunto de rotores. La dimensión de cada devanado rotórico a lo largo del eje transversal es esencialmente idéntica a la dimensión del eje B del conductor eléctrico laminado. El conductor eléctrico laminado está configurado para transportar al menos 600 amperios por vuelta. La resistencia a la tracción en el eje C del conductor eléctrico laminado es con fiabilidad de al menos 21 MPa, donde la expresión "con fiabilidad de al menos 21 MPa" se refiere a un conductor con datos de ensayo de tracción en el eje C en los cuales el 99,7 por ciento de los datos de ensayo de tracción en el eje C se encuentran dentro de tres desviaciones típicas de una media de los datos de ensayo de tracción en el eje C, y la diferencia entre la media de los datos de ensayo en el eje C y las tres desviaciones típicas de la media de datos de ensayo de tracción en el eje C es de al menos 21 MPa.

45 **[0010]** En algunos aspectos, se proporciona un devanado de bobina que incluye un único conductor eléctrico laminado. El conductor eléctrico laminado tiene una sección transversal definida por un eje B que se extiende en una dirección correspondiente a una anchura del conductor, y un eje C ortogonal al eje B, el eje C se extiende en una dirección correspondiente a un espesor del conductor. El conductor eléctrico laminado incluye una primera lámina de soporte, una segunda lámina de soporte, un inserto que incluye un superconductor a alta temperatura dispuesto entre la primera lámina de soporte y la segunda lámina de soporte, y un material de relleno que rodea el inserto que une el inserto a cada una de las primeras láminas de soporte y a las segundas láminas de soporte. En la ubicación entre la primera lámina de soporte y la segunda lámina de soporte correspondiente a la ubicación del inserto, la dimensión de la anchura del material de relleno a cada lado del inserto es al menos 10 por ciento de una anchura del conductor eléctrico laminado.

55 **[0011]** El devanado de bobina puede incluir una o más de las siguientes características: el conductor eléctrico laminado se enrolla alrededor de un eje de devanado que es esencialmente paralelo al eje B. La dimensión de cada devanado rotórico a lo largo del eje de devanado es esencialmente idéntica a la dimensión del eje B del conductor eléctrico laminado. El conductor eléctrico laminado está configurado para transportar al menos 600 amperios por vuelta. La resistencia a la tracción del eje C del conductor eléctrico laminado es con fiabilidad de al menos 21 MPa,

donde la expresión "con fiabilidad de al menos 21 MPa" se refiere a un conductor con datos de ensayo de tracción en el eje C en los cuales el 99,7 por ciento de los datos de ensayo de tracción en el eje C se encuentran dentro de tres desviaciones típicas de una media de datos de ensayo de tracción en el eje C, y la diferencia entre la media de los datos de ensayo de tracción en el eje C y tres desviaciones típicas de la media de los datos de ensayo de tracción en el eje C es de al menos 21 MPa. El devanado de bobina comprende además una pluralidad de vueltas del conductor eléctrico laminado, cada vuelta del conductor eléctrico laminado se fija con respecto a las vueltas restantes utilizando una epoxi. La resistencia a la tracción en el eje C del conductor eléctrico laminado es con fiabilidad superior a la resistencia a la tracción de la epoxi, donde la expresión "con fiabilidad superior a la resistencia a la tracción de la epoxi" se refiere a un conductor con datos de ensayo de tracción en el eje C en los cuales el 99,7 por ciento de los datos de ensayo de tracción en el eje C se encuentran dentro de tres desviaciones típicas de una media de los datos de ensayo de tracción en el eje C, y la diferencia entre la media de los datos de ensayo de tracción en el eje C y tres desviaciones típicas de la media de los datos de ensayo de tracción en el eje C es superior a la resistencia a la tracción de la epoxi. El devanado de bobina tiene forma de devanado de bobina con forma de silla de montar. El devanado está formado por un único conductor enrollado alrededor de un eje a fin de disponerse en capas en la dirección en el eje C y tener un único espesor en la dirección del eje B.

**[0012]** En aplicaciones de devanado de bobina de generador, la resistencia del eje C es una importante consideración de diseño. Esto es debido a las condiciones de carga que se encuentran en aplicaciones de devanado de bobina del generador. Más específicamente, en estas aplicaciones, el conductor laminado se enrolla alrededor de un mandril para formar un devanado de bobina del generador con múltiples vueltas. En el devanado, los conductores individuales se apilan a lo largo del eje C, con una capa epoxi entre cada vuelta. En uso, el devanado de bobina del generador es enfriado criogénicamente para permitir la superconductividad. Sin embargo, puesto que la capa epoxi tiende a contraerse mucho más que los metales que forman el laminado, un alto estrés en el eje C se aplica al laminado que tiende a la delaminación del conductor. En particular, el alto estrés en el eje C es causa frecuente de delaminación que se produce en el inserto SAT de modo que la capa SAT se separa de la capa de sustrato metálico. Al proporcionar un conductor eléctrico laminado que tiene una estructura de filete ancho, la resistencia del eje C del conductor es superior a la de la epoxi, y se evita la delaminación del conductor debido a la refrigeración. En particular, se ha determinado que se requiere una dimensión de anchura de filete a cada lado del inserto SAT de al menos 10 por ciento de una anchura del conductor eléctrico laminado para evitar la delaminación debido a la refrigeración del conductor. Esto contrasta con las aplicaciones de cable de transmisión eléctrica, donde las condiciones de carga del conductor en un cable de transmisión eléctrica son bastante diferentes y por lo tanto la resistencia del eje C no es una consideración de diseño importante.

**[0013]** Se proporciona un conductor eléctrico laminado SAT que tiene una resistencia en el eje C con una fiabilidad superior a 21 MPa. Esto se consigue proporcionando el laminado con una anchura de filete a cada lado del conductor que es al menos 10 por ciento de la anchura del conductor. Ventajosamente, la estructura laminada evita la delaminación del conductor cuando se forma en un devanado y se enfría lo suficiente para permitir la superconductividad.

**[0014]** Se proporciona un conductor eléctrico laminado SAT que tiene una alta capacidad de transporte de corriente con relación a los conductores eléctricos superconductores a alta temperatura laminados convencionales. Esto se consigue proporcionando el laminado con una anchura del conductor global que es superior a 12 mm. En algunos casos, el conductor laminado ancho está configurado para proporcionar al menos 600 amperios por vuelta en comparación con 200 amperios por vuelta del conductor laminado convencional. La capacidad de transporte de una corriente relativamente alta es ventajosa ya que permite que el devanado se forme en un menor número de vueltas, reduciendo la mano de obra y los costos durante la fabricación. Además, el uso de conductores anchos en un devanado de bobina superconductora permite un empaquetamiento de manera eficaz de las vueltas y el uso de menos aislamiento, con lo que la densidad de corriente (amperios-vueltas) es superior para los devanados formados convencionalmente.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

### [0015]

- Fig. 1 es una vista en perspectiva de un aerogenerador.  
 Fig. 2 es una vista en sección lateral del aerogenerador de la Fig. 1.  
 Fig. 3 es una vista en perspectiva del conjunto de estatores del generador.  
 Fig. 4 es una vista en sección transversal lateral del conjunto de rotores del generador.  
 Fig. 5 es una vista en perspectiva del conjunto de rotores del generador.

Fig. 6 es una vista en sección transversal en perspectiva del conductor eléctrico SAT de tres capas.

Fig. 7 es una vista en sección transversal del inserto SAT.

Fig. 8 es una vista en perspectiva en sección transversal de una porción del devanado rotórico.

Fig. 9 es una vista en sección transversal en perspectiva del conductor eléctrico SAT de cuatro capas.

5 Fig. 10 es un gráfico que ilustra el esfuerzo de falla del eje C medido (MPa) para cinco muestras de tres configuraciones de conductores diferentes.

Fig. 11 es un gráfico que ilustra la tensión última de tracción del eje C medida (MPa) frente a la anchura de filete como un porcentaje de la anchura total del conductor.

10 Fig. 12 es un gráfico de corriente crítica (amperios) frente a la posición (metros) para un conductor ancho de 16 mm que incluye dos insertos anchos de 11,8 mm.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA

**[0016]** Haciendo referencia a la Fig. 1, un aerogenerador 10 incluye un rotor de turbina 20 que tiene palas 22  
15 conectadas a un buje 24. El aerogenerador 10 incluye también un generador eléctrico 30 que es accionado por un eje motor 90 que se extiende entre el generador 30 y el buje 24. El generador 30 está alojado en una góndola 26, mostrada parcialmente recortada con el rotor de turbina 20 que sobresale a través de una apertura en un extremo de la góndola 26. Como se describirá en mayor detalle a continuación, el generador 30 está configurado para su uso en aplicaciones de baja frecuencia, y rota a la misma frecuencia que el rotor de turbina 20. Por ejemplo, en la  
20 realización ilustrada, el generador 30 está configurado para funcionar a alrededor de 11 rpm y generar 10 megavatios de potencia o más.

**[0017]** Haciendo referencia a la Fig. 2, el generador 30 es una máquina superconductor de accionamiento directo, síncrona, rotativa que incluye un conjunto de rotores 60 que contiene un devanado de campo SAT y un  
25 conjunto de estatores 40 que contiene un devanado estatístico no superconductor, por ejemplo, un devanado estatístico de cobre. Como se describirá en mayor detalle a continuación, el conjunto de rotores 60 está soportado en el conjunto de estatores 40 de manera que los conjuntos de rotores y estatores sean coaxiales alrededor de un eje motor 90 y un eje longitudinal 15 del generador 30.

**[0018]** Haciendo referencia a la Fig. 3, el conjunto de estatores 40 incluye un núcleo del estator 42 y devanados estatísticos 46 soportados en el núcleo del estator 42. El núcleo del estator 42 es un cuerpo cilíndrico hueco formado como un conjunto de secciones en arco laminadas que forman placas ferromagnéticas anulares 44.  
30 Los devanados estatísticos 46 están formados por cables metálicos transpuestos (no mostrados), en los que los cables conductores de cobre (no mostrado) se retuercen y/o tejen para formar un patrón que reduce las pérdidas de conducción. Los cables transpuestos pueden incluir hilo Litz, hilo Rutherford, hilo Robel, o cualquier otro cable  
35 transpuesto o enrollado en serie adecuado. Los cables transpuestos se enrollan alrededor de un eje transversal al eje longitudinal 15 del generador 30 para formar un devanado estatístico de múltiples vueltas alargado 46 que tiene una forma convencional, tal como diamante o manivela, y los devanados estatísticos 46 se enfrían por medios convencionales.

**[0019]** Haciendo referencia a las Figs. 4 y 5, el conjunto de rotores 60 incluye un conjunto de devanado rotórico 62 y un conjunto de transferencia de pares 80 que están rodeados por un blindaje electromagnético 50. El  
40 blindaje electromagnético 50 incluye un material conductor, no magnético que blindará devanados rotóricos 64 en el conjunto de devanados rotóricos 62 mediante la atenuación de campos asíncronos producidos por las corrientes del estator. Además, el blindaje electromagnético 50 blindará el conjunto de devanados rotóricos 62 del calor generado en el conjunto de estatores 40.

**[0020]** El conjunto de devanados rotóricos 62 incluye múltiples devanados rotóricos 64, cada uno formado por un conductor superconductor a alta temperatura (SAT) 102 enrollado alrededor de un mandril 66. Si bien otras  
50 configuraciones son posibles, los devanados rotóricos 64 de esta realización se encuentran en forma de una bobina con forma de silla de montar, como se discute más adelante. Los devanados rotóricos 64 y el mandril 66 se disponen en un tubo de soporte para el devanado rotórico cilíndrico 68, y los devanados rotóricos 64, el mandril 66 y el tubo de soporte para el devanado rotórico 68 están contenidos en un criostato 70.

**[0021]** Los devanados rotóricos 64 se enfrían por conducción a través del tubo de soporte para el rotor 68. En la realización ilustrada, un sistema de refrigeración criogénico, como se describe en la solicitud de Estados Unidos en tramitación 12/045973, cuyos contenidos se incorporan por referencia en esta solicitud, se utiliza para enfriar el tubo de soporte para el rotor 68. En el sistema de refrigeración criogénico, los refrigeradores criogénicos se distribuyen alrededor de la circunferencia del tubo de soporte 68. Cada refrigerador criogénico incluye un cabezal

frío conectado al tubo de soporte para el rotor 68, y un circulador (no mostrado) que hace circular un refrigerante hacia y desde la carga térmica conectada al refrigerador criogénico, por lo que el refrigerador criogénico y el circulador están configurados para rotar junto con el tubo de soporte para el rotor 68.

5 **[0022]** El conjunto de transferencia de pares 80 está dispuesto radialmente hacia dentro con respecto al conjunto de devanados rotóricos 62, y rotatoriamente y coaxialmente soporta el conjunto de rotores 60 en el conjunto de estatores 40. Además, el conjunto de transferencia de pares 80 soporta el conjunto de devanados rotóricos 62 y transfiere las fuerzas de rotación generadas por el conjunto de devanados rotóricos 62 a un eje motor 90.

10

**[0023]** El conjunto de transferencia de pares 80 incluye un cuerpo del rotor 82 que soporta y posiciona el tubo de soporte 68 con respecto al conjunto de estatores 40, el eje motor 90, y un acoplamiento limitador de pares 100 que conecta el cuerpo del rotor 82 al eje motor 90. Un extremo 94 del eje motor 90 está conectado al cuerpo del rotor 82 a través del acoplamiento limitador de pares 100. El extremo opuesto 92 del eje motor 90 está soportado por la góndola 26 a través de cojinetes de apoyo 28 (apreciados mejor en la Fig. 2). El cuerpo del rotor 82, el acoplamiento limitador de pares 100 y el eje motor 90 residen fuera del espacio frío definido por el criostato 70, y por lo tanto operan a temperatura ambiente.

**[0024]** Haciendo referencia a la Fig. 6, el devanado rotórico de tipo forma de silla de montar 64 está formado por un único conductor eléctrico 102. El conductor eléctrico 102 es una cinta superconductora a alta temperatura (SAT) que tiene una forma de sección transversal generalmente rectangular, y una longitud que es mucho mayor en dimensión que su anchura o espesor. Para fines de esta descripción, el conductor 102 incluye un eje A que se extiende en una dirección correspondiente a una longitud del conductor en la dirección de transmisión de corriente. El conductor 102 también incluye un eje B transversal al eje A, el eje B se extiende en una dirección correspondiente a la anchura del conductor  $w_c$ , y un eje C transversal tanto para el eje A como para el eje B, el eje C se extiende en una dirección que corresponde al espesor del conductor  $t_c$ . Se entenderá que este marco de referencia se establece con referencia a la geometría del conductor 102 como un todo, y está separado de las coordenadas cristalográficas del material superconductor proporcionado en el conductor 102.

30 **[0025]** El conductor 102 es un conjunto laminado que incluye una primera lámina de soporte 108, una segunda lámina de soporte 110, al menos un inserto SAT 112 dispuesto entre la primera y la segunda lámina de soporte 108, 110 en una disposición en capas, y una carga de soldadura 124 que contiene el inserto SAT 112, conecta el inserto SAT 112 a cada una de las primeras y segundas láminas de soporte 108, 110, y forma un filete 126, como se discute más adelante. Además, el conductor 102 está recubierto de una capa de recubrimiento de epoxi aislante (no mostrada). El conjunto de conductores laminados mostrado en la Fig. 6, que incluye un único inserto SAT 112, se refiere como un conductor "de tres capas".

**[0026]** La primera y la segunda lámina de soporte 108, 110 se forman de un material eléctricamente conductor tal como metal, y se utilizan para reforzar el conductor 102. Por ejemplo, la primera y la segunda lámina de soporte 108, 110 pueden estar formadas de cobre, aleación de cobre, acero inoxidable, latón, o materiales compuestos de los mismos. En la realización ilustrada, la primera lámina de soporte 108 está formada del mismo material que la segunda lámina de soporte 110.

**[0027]** En el conductor 102, el material de relleno 124 rodea completamente el inserto 112. Aunque el material de relleno 124 llena generalmente el espacio disponible entre la primera lámina de soporte 108 y la segunda lámina de soporte 110, un filete 126 se forma a lo largo de los bordes laterales del material de relleno 124, donde se forma un menisco de poca profundidad debido a la tensión superficial durante la fabricación. El material de relleno 124 une mecánicamente todos los componentes entre sí. Se pueden utilizar numerosas soldaduras diferentes como el material de relleno 124, y la soldadura específica utilizada se selecciona basándose en los requisitos (térmicos, eléctricos y mecánicos) de la aplicación particular. Por ejemplo, el material de relleno 124 se puede seleccionar entre soldaduras Pb-Sn, soldaduras Sn u otras soldaduras.

**[0028]** Haciendo referencia a la Fig. 7, el inserto SAT 112 es también una estructura laminada, e incluye un sustrato metálico 120. En algunas realizaciones, el sustrato metálico 120 está formado por un material ferromagnético. Por ejemplo, el sustrato metálico 120 puede estar formado por NiW. Al menos una superficie del sustrato metálico 120 está texturizada biaxialmente para proporcionar una plantilla de cristal para una o más capas de amortiguamiento 118 y la capa SAT 116. Las capas de amortiguamiento 118 recubren el sustrato metálico 120. En algunas realizaciones, las capas de amortiguamiento 118 se componen de un material eléctricamente aislante, aunque pueden ser utilizados materiales eléctricamente conductores. Las capas de amortiguamiento 118 se

componen de, por ejemplo, un metal inerte, un óxido, zirconato, titanato, niobato, nitruro, tantalato, aluminato, cuprato, manganato, o rutenato de un metal o elemento de tierras raras (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ , titanato de estroncio, zirconato de gadolinio, zirconia estabilizada con itria,  $\text{AlN}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{LaMnO}_4$ ,  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , o  $\text{La}_{2-x}\text{Ce}_x\text{Zr}_2\text{O}_7$ ). Se puede utilizar cualquier material, o combinación de materiales, que proporcione una textura adecuada sobre la que crecer un cristal SAT. La capa SAT 116 cubre las capas de amortiguamiento 118 y puede ser cualquier material SAT. En algunas realizaciones, la capa SAT incluye una tierra rara-tierra alcalina-óxido de cobre, tal como YBCO. Una capa de cubierta 114 cubre la capa SAT 116 y protege la capa SAT de la degradación química y mecánica. La capa de cubierta 114 puede pulverizarse catiónicamente con Ag u otro metal inerte. El inserto SAT 112 se fabrica utilizando un procedimiento de fabricación de banda ancha que permite que se produzcan múltiples cables con anchuras deseadas de una sola red ancha de 4-10 cm. Por lo tanto, los conductores relativamente anchos se pueden formar, permitiendo corrientes más altas en un único cable.

**[0029]** Haciendo referencia a la Fig. 8, en el devanado rotórico de tipo forma de silla de montar 64, el conductor 102 se enrolla alrededor del mandril 66 sobre un eje T que es transversal al eje longitudinal 15 del generador 30. Puesto que el mandril 66 está generalmente en forma de un óvalo alargado, el devanado rotórico 64 incluye porciones rectas 64a a lo largo de los lados largos del mandril 66, y porciones curvadas 64b a lo largo de extremos redondeados relativamente más cortos del mandril 66. Más particularmente, en el devanado rotórico de tipo forma de silla de montar 64, el conductor 102 se enrolla alrededor del mandril 66 de modo que en las porciones rectas 64a, el eje B del conductor es paralelo a un radio R del conjunto de rotores 60, y es normal a la superficie exterior del tubo de soporte 68. Se entiende que el radio R y el eje T son coaxiales en el centro del mandril 66, y que el radio R tiene una forma de silla de montar angular ligera con respecto al eje T en ubicaciones adyacentes a una periferia del mandril 66.

**[0030]** En algunas realizaciones, el conductor 102 se enrolla al menos 300-400 vueltas alrededor del eje T. Como resultado, cuando se observa el devanado de bobina 64 en la sección transversal como se muestra en la Fig. 6, múltiples capas del conductor 102 se disponen a lo largo del eje C del conductor. Tenga en cuenta que las secciones transversales del conductor 102 no están dibujadas a escala en la Fig. 8 para permitir la visualización de la orientación de las capas del conductor en el devanado rotórico 64. Además, el conductor 102 está dispuesto en una sola capa tal que la dimensión del devanado rotórico 64 a lo largo del radio R es idéntica a la dimensión del eje B del conductor 102 (por ejemplo, la anchura del conductor  $w_c$ ). Es posible formar el devanado de bobina 64 en una sola capa debido a su anchura relativamente grande ( $w_c$ ). La configuración de devanado con forma de silla de montar en capa única es ventajosa ya que es relativamente simple, más robusta mecánicamente en comparación con otras configuraciones tales como una pila de múltiples planos que forman una sección de arcos, y permite el empaquetamiento de manera muy eficaz el conductor en el espacio disponible. Un experto en la materia apreciará que un devanado con forma de silla de montar sobre un diámetro grande sea casi el mismo que un devanado plano. Sin embargo, una ventaja del devanado con forma de silla de montar es que se ajusta a la superficie de un tubo.

**[0031]** Cuando el conductor 102 se utiliza en aplicaciones de devanado de bobina, se ha determinado que una resistencia en el eje C superior a 21 MPa, es crítica con el fin de evitar la delaminación del conductor, por ejemplo, debido a la disposición en capas del conductor 102 a lo largo de la dirección del eje C para formar las vueltas de un devanado de bobina, y las propiedades de contracción térmica desiguales de la epoxi que rodea el conductor 102 y los metales que forman el conductor 102. En el conductor 102, la resistencia del eje C requerida se consigue formando el conductor 102 de tal manera que la dimensión de anchura del material de relleno 124 a cada lado del inserto 112 es al menos 10 por ciento de una anchura del conductor 102, como se mide en la dirección de la anchura (por ejemplo, a lo largo del eje B) en una ubicación entre la primera lámina de soporte 108 y la segunda lámina de soporte 110 que corresponde a la ubicación del inserto 112. En el conductor de tres capas 102, esta ubicación corresponde generalmente a la mitad del espesor (por ejemplo, el punto medio en la dirección del eje C) del conductor 102.

**[0032]** Con el fin de obtener el espesor requerido del filete, el inserto 112 que incluye la capa SAT 116 se forma teniendo una anchura de inserto  $w_i$  que es inferior a la anchura del conductor  $w_c$ . En particular, el área en el conductor 102 que se llenaría convencionalmente con el material superconductor se llena en su lugar con material de relleno 124, por medio del cual la corriente se cambia con el fin de lograr las características de resistencia del eje C requeridas en un devanado rotórico 64.

**[0033]** En la realización ilustrada, el conductor 102 se forma teniendo una anchura del conductor  $w_c$ , correspondiente a una anchura de la lámina de soporte 108, 110, de 12,0 mm, y un espesor de 0,050 mm. Además, el inserto 112 se proporciona en una anchura  $w_i$  de 9,0 mm. En particular, la anchura del inserto  $w_i$  se selecciona para que la anchura de filete más pequeña a cada lado del inserto 112 sea superior a 10 por ciento de la anchura del

conductor  $w_c$ . Como se mide en la ubicación de altura entre la primera lámina de soporte y la segunda lámina de soporte correspondiente a la ubicación del inserto 112, el porcentaje de la anchura del conductor de la anchura total del filete (por ejemplo, desde ambos lados del inserto 112) corresponde a  $((w_c - w_i) / w_c) * 100$ . Así, el porcentaje de la anchura del conductor de la anchura del filete a cada lado del inserto 112 corresponde a  $((w_c - w_i) / 2w_c) * 100$ , y se requiere que sea al menos un 10 por ciento. Aunque estos porcentajes descuidan la concavidad del filete 126, son aceptables ya que el espesor total del conductor 102 es pequeño, por lo que la concavidad es muy leve. Así, para un conductor que tiene una anchura del conductor  $w_c$  de 12,0 mm y una anchura del inserto  $w_i$  de 9,0 mm, la dimensión de anchura del material de relleno 124 a cada lado del inserto 112 es de 12,5 por ciento.

10 **[0034]** Las dimensiones del conductor no se limitan a la configuración 12-9 que se ha descrito anteriormente. Para aplicaciones que requieren una corriente más alta, el conductor 102 puede estar formado teniendo una mayor anchura de inserto. Por ejemplo, el conductor 102 puede estar formado con una anchura del conductor  $w_c$ , de 16,0 mm. El inserto correspondiente 112 se proporciona en una anchura  $w_i$  de 11,8 mm. En este ejemplo, la dimensión de anchura del material de relleno 124 a cada lado del inserto 112 es de 13 por ciento.

15 **[0035]** Haciendo referencia a la Fig. 9, un conductor 202 de realización alternativa es idéntico al conductor de tres capas 102, excepto que incluye dos insertos SAT 112, 112', y se refiere como un conductor "de cuatro capas". Al proporcionar un conductor 202 que tiene dos insertos 112, 112', una mayor capacidad de transporte de corriente se obtiene en relación con el conductor 102, que tiene un único inserto 112.

20 **[0036]** Los insertos SAT 112, 112' son estructuralmente idénticos, y están dispuestos entre la lámina de tal manera que el orden de las capas de uno de los primeros de los insertos SAT 112 refleje el orden de las capas del segundo de los insertos SAT 112' como se observa a través de un eje por el centro de espesor del conductor y paralelo al eje B. En particular, los insertos SAT 112, 112' están dispuestos de modo que el orden de las capas es  
25 generalmente una capa de cubierta 114/capa SAT 116/ capa(s) de amortiguamiento 118/sustrato metálico 120/sustrato metálico 120'/capa(s) de amortiguamiento 118'/capa SAT 116'/cubierta 114'. En otras palabras, los insertos SAT 112, 112' están dispuestos de manera que las capas SAT 116, 116' están situadas hacia fuera con relación a los respectivos sustratos metálicos 120, 120'. Mediante esta disposición, las respectivas capas SAT 116, 116' blindan eléctricamente las capas de sustrato metálico 120, 120', una configuración que reduce las pérdidas de  
30 corriente alterna en relación con una configuración de cinta SAT en la que se repite el orden de los insertos 112, en lugar de reflejarlos, a través del eje.

**[0037]** Como se discutió anteriormente, una configuración de conductor que incluye una anchura de filete ancho aborda el modo de fallo del devanado de bobina en el que se aplica una alta tensión en el eje C que tiende a  
35 la delaminación del conductor respecto al laminado debido a la refrigeración de la epoxi. En particular, la delaminación se puede evitar mediante la formación de un conductor en el que la resistencia a la tracción en el eje C del conductor sea superior al punto de relajación de esfuerzos mecánicos de la epoxi. En la realización ilustrada, para una epoxi que tiene un punto de relajación de esfuerzos mecánicos de 14 MPa, y que incluye un factor de seguridad de 1,5, el conductor de resistencia mínima en el eje C es 21 MPa.

40 **[0038]** En el conductor 202, la resistencia del eje C requerida se consigue formando el conductor 202 de tal manera que la dimensión de anchura del material de relleno 124 a cada lado de los insertos SAT 112, 112' es al menos 10 por ciento de una anchura del conductor 202, como se mide en la dirección de la anchura (por ejemplo, a lo largo del eje B) en una ubicación entre la primera lámina de soporte 108 y la segunda lámina de soporte 110 que  
45 corresponde a las ubicaciones de los insertos SAT 112, 112'. En el conductor de cuatro capas 102, esta ubicación corresponde generalmente a la mitad del espesor (por ejemplo, el punto medio en la dirección del eje C) del conductor 202.

**[0039]** Se ha determinado experimentalmente que las anchuras de filete de menos de 10 por ciento en uno o  
50 ambos lados del inserto dan lugar a que los conductores 102, 202 no proporcionen de forma fiable la resistencia del eje C requerida (por ejemplo, superior a 21 MPa), y no serían adecuados para su uso en el devanado rotórico 64, como se discute a continuación con respecto a la Figuras 10 y 11.

**[0040]** La Figura 10 es un gráfico del esfuerzo de falla del eje C medido para las muestras de las siguientes  
55 tres configuraciones diferentes de un conductor de cuatro capas: un primer conductor de ejemplo que tiene una anchura del conductor  $w_c$ , de 16,0 mm y una anchura del inserto  $w_i$  de 11,8 mm; un segundo conductor de ejemplo que tiene una anchura del conductor  $w_c$ , de 12,0 mm y una anchura del inserto  $w_i$  de 9,0 mm; y un tercer conductor de ejemplo que tiene una anchura del conductor  $w_c$ , de 12 mm y una anchura del inserto  $w_i$  de 10 mm. Los primer y segundos conductores de ejemplo tienen anchuras de filete a cada lado del inserto que son 13,1 por ciento y 12,5

por ciento de la anchura del conductor, respectivamente. Los resultados del tercer conductor de ejemplo dan lugar a una anchura de filete a cada lado del inserto que es sólo el 8,3 por ciento de la anchura del conductor. Este gráfico ilustra que el aumento de la anchura de filete da lugar generalmente a un aumento del esfuerzo de falla de tracción en el eje C.

5

**[0041]** La sabiduría convencional es que habría poca mejora en la resistencia con una mayor anchura de filete ya que el inserto 112 está demasiado lejos del lado opuesto (superficie orientada hacia el exterior) de la región del filete 126. Además, entre otras cosas, la tecnología conductora eléctrica, en particular para conductores eléctricos utilizados en aplicaciones de devanado, es impulsada por la necesidad de aumentar la capacidad de transporte de corriente. Por lo tanto, dado que el aumento de anchura del filete resulta en una anchura reducida del inserto, un experto en la materia buscaría soluciones que aumenten el tamaño del inserto en vez de reducir el tamaño del inserto, y no consideran el aumento de la anchura del filete. Inesperadamente, hay una mejora progresiva en la resistencia a la tracción en el eje C con el aumento de la anchura del filete. Esto es debido al hecho de que el borde del conductor es un sitio de nucleación de grietas generado por un procedimiento de corte en dirección longitudinal que se produce durante la fabricación del conductor 102, 202. Un filete más amplio 126 proporciona una resistencia a la tracción más recta en el sitio potencial de nucleación de grietas.

10

15

**[0042]** Cada uno de los ejemplos mostrados en la Fig. 10 demuestra una resistencia a la tracción en el eje C que es de más de 21 MPa. Sin embargo, como se discute a continuación, el tercer conductor de ejemplo no demuestra con fiabilidad una resistencia a la tracción en el eje C que sea de al menos 21 MPa. Por lo tanto, el tercer conductor de ejemplo de la Fig. 10, que tiene una anchura del filete inferior a 10 por ciento, no es adecuado para su uso en el devanado rotórico 64.

20

**[0043]** Haciendo referencia a la Fig. 11, que ilustra la relación entre la anchura del filete (expresada como un porcentaje de la anchura del conductor) y la tensión última de tracción, medida en la dirección del eje C, se puede observar que se obtiene una mayor tensión última de tracción para conductores en los que el porcentaje de la anchura del filete a la anchura total del conductor es superior. Además, esta figura ilustra que esos conductores 102, 202 que tienen anchuras de filete a cada lado del inserto 112 que son superiores a 10 por ciento de la anchura del conductor tienen una resistencia mecánica que es con fiabilidad superior a 21 MPa. Como se usa en esta solicitud, se considera que un conductor 102, 202 es fiable cuando el 99,7 por ciento de los datos de ensayo de tracción en el eje C se encuentran dentro de tres desviaciones típicas de la media de datos de ensayo. En este caso, como mínimo, la diferencia entre la resistencia a la tracción en el eje C del conductor media y tres desviaciones típicas de la resistencia a la tracción en el eje C del conductor media ha de ser 21 MPa para el conductor 102, 202. Los conductores que cumplen con este estándar tienen una muy alta probabilidad de ser fiables, y la fiabilidad es una característica crítica de un devanado de bobina, ya que es muy difícil y costoso reemplazar un devanado de bobina defectuosa 64 una vez montado dentro del generador 30. En la Figura 11, los conductores que tienen anchuras de filete a cada lado del inserto que son inferiores a 10 por ciento de la anchura del conductor, por ejemplo 4 por ciento y 8,3 por ciento, no cumplían con la norma de fiabilidad, y por tanto no son adecuados para su uso en el devanado rotórico 64.

25

30

35

40

**[0044]** La Fig. 12 es un gráfico de corriente crítica  $I_c$  medida a intervalos a lo largo de 240 metros de un conductor de cuatro capas 202 que tiene una anchura de lámina de 16 mm y una anchura de inserto de 11,8. Ventajosamente, el conductor 202 demuestra una elevada capacidad de transporte de corriente (por ejemplo, una corriente crítica  $I_c$  de aproximadamente 600 amperios), mediante la cual un devanado de un solo conductor 64 formado por el conductor 202 también proporciona una alta capacidad de transporte de corriente similar. Como tal, los devanados del generador que tienen múltiples bobinas en paralelo pueden ser evitados. Además, la corriente crítica  $I_c$  tiene poca variación a lo largo de la longitud del conductor.

45

**[0045]** Es posible lograr el rendimiento requerido de devanado de bobina 64 (por ejemplo, la capacidad para llevar 600 amperios por vuelta o más) como se describe anteriormente debido a una combinación de características de devanado de bobina. En particular, el devanado de bobina está formado por un conductor SAT de cuatro capas 202, y el conductor 202 se forma con una gran anchura  $w_c$ , por ejemplo 12 mm, 16 mm o más, como se discute más adelante. Cada conjunto de polos se enrolla de tal manera que ocupará una sección de arcos de  $\theta = 180$  grados dividido por el número de pares de polos. La gran anchura del conductor  $w_c$  permite una disposición de una sola capa de conductores 202 a utilizarse en la sección de arcos (véase la Fig. 8), que contribuye a un empaquetamiento con una densidad muy eficiente y alta de conductores 202 en el arco (por ejemplo, el espacio disponible). La mejora del empaquetamiento da lugar a una mayor densidad de corriente, es decir, más amperio-vueltas, ya que se requiere menos aislamiento. Además, ya que sólo una capa conductora se enrolla para cada devanado 64, se requiere menos mano de obra durante la fabricación que para configuraciones en las que se utilizan múltiples capas.

50

55

Asimismo, la alta densidad de empaquetamiento del conductor es una configuración que promueve la auto-redistribución de corriente, que se traduce como un beneficio del 30 por ciento con respecto a la capacidad de transporte de corriente. Esto ocurre debido a que generalmente se expone un devanado de capa única muy amplio a un gradiente en densidad de flujo que es paralela al eje C del conductor 202 en los bordes radiales hacia el exterior y hacia el interior del conjunto de polos y paralela al eje B del conductor 202 cerca del punto medio del arco. Los conductores YBCO y BSCCO con textura transportan mucha más corriente cuando la densidad de flujo impuesta es paralela al eje C del conductor. Como tal, los conductores amplios 202 descritos en esta solicitud redistribuyen la corriente de los bordes de arco hasta el punto medio del arco.

10 **[0046]** Una máquina SAT que emplea el devanado de capa única 64 que incluye el conductor de cuatro capas 202 tendrá un tamaño y peso más pequeños en relación con algunas máquinas convencionales, y aún así proporciona una corriente operativa de 600 amperios. Esto puede lograrse, por ejemplo, cuando la densidad de flujo del entrehierro es superior a 1,5 T, el entrehierro eficaz entre el hierro del rotor y el hierro trasero del estator es de aproximadamente 200 mm, y la sección de arco tiene un devanado de una única capa de recuento de vueltas superior a 400 vueltas para un espesor de vueltas aislado de 400 micrones.

15 **[0047]** Una realización ilustrativa seleccionada del acoplamiento limitador de pares 100 para su uso en el generador 30 se ha descrito anteriormente en detalle. Aunque este ejemplo de trabajo de la presente invención se ha descrito anteriormente, la presente invención no está limitada al ejemplo de trabajo descrito anteriormente, pero diversas alteraciones de diseño pueden llevarse a cabo sin apartarse de la presente invención como se expone en las reivindicaciones.

20 **[0048]** Si bien los conductores 102, 202 se describen en esta solicitud por incluir dos láminas de soporte 108, 110, los conductores pueden formarse con más de dos láminas. Además, la primera lámina de soporte 108 no está necesariamente formada del mismo material que la segunda lámina de soporte 110. En lugar de ello, los conductores 102, 202 pueden incluir una lámina formada de materiales diferentes. Aunque la lámina de soporte 108, 110 se describen por tener un espesor de 0,050 mm, la lámina de soporte puede estar formada por tener espesores distintos de 0,050 mm.

25 **[0049]** Si bien los conductores 102, 202 se describen en esta solicitud por tener uno o dos insertos, los conductores no se limitan a este número de insertos. En algunas realizaciones, los conductores pueden formarse con más de dos insertos. Además, un metal normal puede disponerse entre los respectivos insertos.

30 **[0050]** En la realización ilustrada, los devanados rotóricos 64 son enfriados por conducción a través del tubo de soporte para el rotor 68 mediante un sistema de refrigeración criogénica, pero la refrigeración por conducción de los devanados rotóricos se puede conseguir utilizando otras técnicas. Por ejemplo, en otras realizaciones, los tubos de refrigeración están soldados a la superficie exterior del tubo de soporte para el rotor 68 intermedio a los devanados rotóricos 64. En otras realizaciones, los tubos de refrigeración pueden estar dispuestos en el mandril 66 y/o en los mismos devanados 64. Alternativamente, otros procedimientos de refrigeración de los devanados rotóricos 40 4 pueden ser sustituidos con la disposición de tubos de refrigeración. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el helio gaseoso se hace circular en el interior del criostato 70 para enfriar los devanados rotóricos 64. Las líneas de suministro de refrigerante (no mostradas) que permiten el flujo hacia el interior y el flujo hacia el exterior del helio gaseoso al conjunto de devanados rotóricos 62 pasan a través de un acoplamiento de transferencia de helio coaxial (no mostrado), que es una unión estacionaria a una rotación.

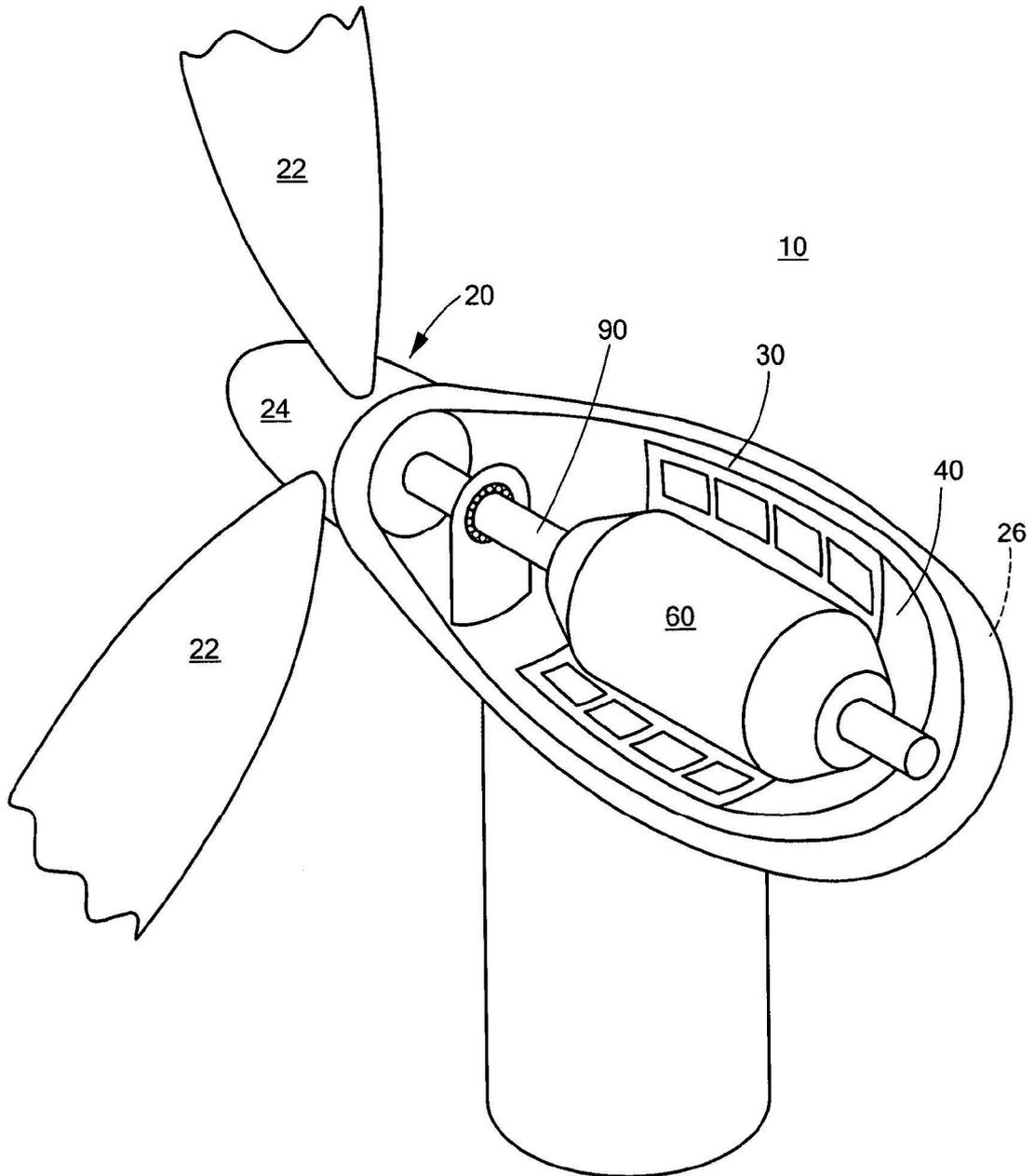
45 **[0051]** Además, se debe entender que sólo las estructuras consideradas necesarias para clarificar la presente invención se han descrito en esta solicitud. Se supone que otras estructuras convencionales, y las de los componentes complementarios y auxiliares del sistema, son conocidas y entendidas por los expertos en la materia.

**REIVINDICACIONES**

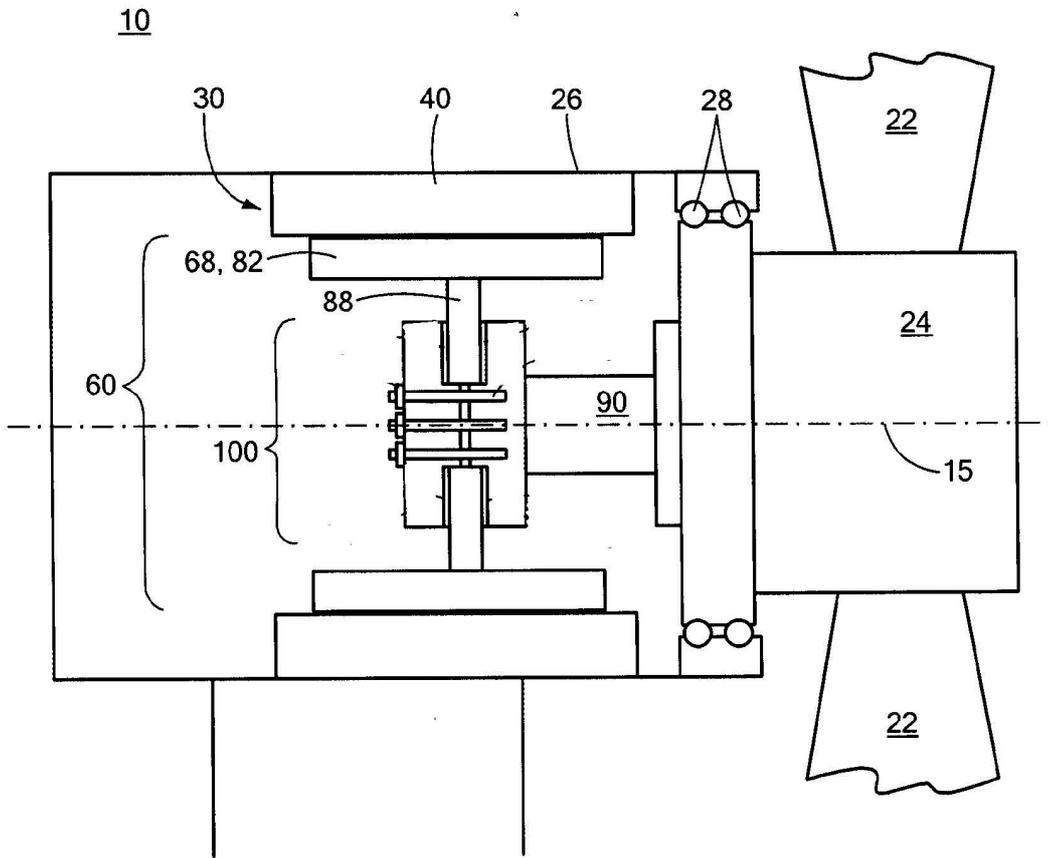
1. Un devanado de bobina (64) para una máquina rotativa, el devanado de bobina (64) comprende un  
único conductor eléctrico laminado (102; 202), comprendiendo el conductor eléctrico laminado (102; 202):
- 5 una sección transversal definida por un eje B que se extiende en una dirección correspondiente a una anchura del conductor,
- y un eje C ortogonal al eje B, el eje C se extiende en una dirección correspondiente a un espesor del conductor,
- 10 una primera lámina de soporte (108),
- una segunda lámina de soporte (110),
- 15 un único inserto (112), que incluye un superconductor a alta temperatura, dispuesto entre la primera lámina de soporte (108) y la segunda lámina de soporte (110), estando dispuesto el único inserto (112) en una disposición en capas con la primera lámina de soporte (108) y la segunda lámina de soporte (110), y
- un material de relleno (124) que rodea el inserto (112) que une el inserto (112) a cada una de las primeras láminas  
de soporte (108) y a las segundas láminas de soporte (110), en el que en la ubicación entre la primera lámina de  
20 soporte (108) y la segunda lámina de soporte corresponde a la ubicación del inserto (112), la dimensión de la anchura del material de relleno (124) a cada lado del inserto (112) es al menos 12,5 por ciento de una anchura del conductor eléctrico laminado (102; 202);
- 25 en el que la resistencia a la tracción en el eje C del conductor eléctrico laminado (102; 202) es con fiabilidad de al menos 21 MPa, donde la expresión "con fiabilidad de al menos 21 MPa" se refiere a un conductor con datos de ensayo de tracción en el eje C en los cuales el 99,7 por ciento de los datos de ensayo de tracción en el eje C se encuentran dentro de tres desviaciones típicas de una media de datos de ensayo de tracción en el eje C, y la diferencia entre la media de datos de ensayo de tracción en el eje C y tres desviaciones típicas de la media de datos  
30 de ensayo de tracción en el eje C es de al menos 21 MPa,
- en el que la bobina comprende una pluralidad de vueltas del conductor eléctrico laminado (102; 202), cada vuelta del conductor eléctrico laminado (102; 202) se fija con respecto a las vueltas restantes utilizando una epoxi; y
- 35 en el que la resistencia a la tracción en el eje C del conductor eléctrico laminado (102; 202) es con fiabilidad superior a la resistencia a la tracción de la epoxi, donde la expresión "con fiabilidad superior a la resistencia a la tracción de la epoxi" se refiere a un conductor con datos de ensayo de tracción en el eje C en los cuales el 99,7 por ciento de los datos de ensayo de tracción en el eje C se encuentran dentro de tres desviaciones típicas de una media de datos de ensayo de tracción en el eje C, y la diferencia entre la media de datos de ensayo de tracción del eje C y tres  
40 desviaciones típicas de la media de datos de ensayo de tracción en el eje C es superior a la resistencia a la tracción de la epoxi.
2. El devanado de bobina (64) de la reivindicación 1, en el que el conductor eléctrico laminado (102; 202) está enrollado alrededor de un eje de devanado que es esencialmente paralelo al eje B.
- 45
3. El devanado de bobina (64) de la reivindicación 1, en el que la dimensión de cada devanado rotórico a lo largo del eje de devanado es esencialmente idéntica a la dimensión del conductor eléctrico laminado (102; 202) en el eje B.
- 50
4. El devanado de bobina (64) de la reivindicación 1, en el que el conductor eléctrico laminado (102; 202) está configurado para transportar al menos 600 amperios por vuelta.
5. El devanado de bobina (64) de la reivindicación 1, en el que el devanado de bobina (64) tiene la forma de un devanado de bobina con forma de silla de montar (64).
- 55
6. El devanado de bobina (64) de la reivindicación 1, en el que el devanado está formado por un único conductor enrollado alrededor de un eje de modo que se dispone en capas en la dirección del eje C y tiene un único espesor en la dirección del eje B.

7. El devanado de bobina (64) de la reivindicación 1, que comprende además un segundo inserto (112'), que incluye un superconductor a alta temperatura, dispuesto entre la primera lámina de soporte (108) y la segunda lámina de soporte (110), estando dispuesto el segundo inserto (112') en una disposición en capas con la primera lámina de soporte (108), la segunda lámina de soporte (110) y el único inserto (112).

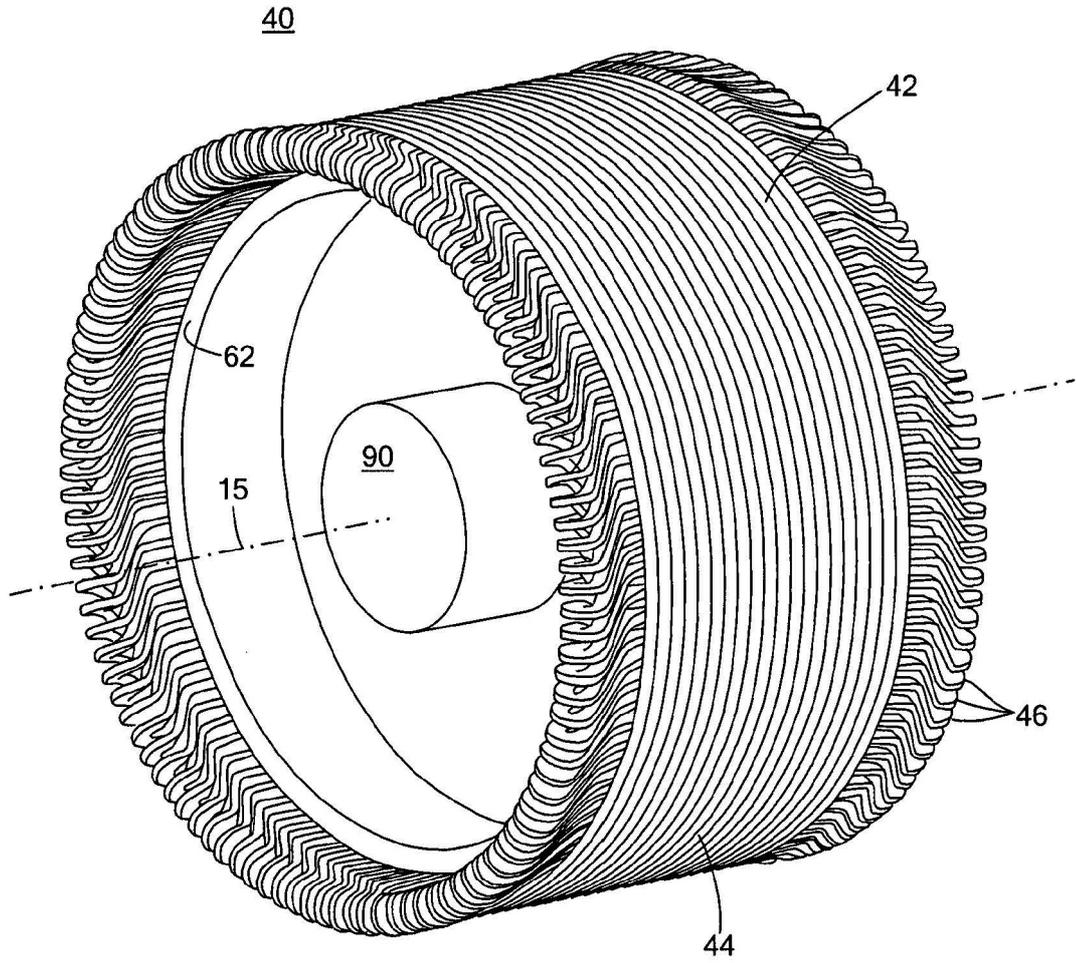
5



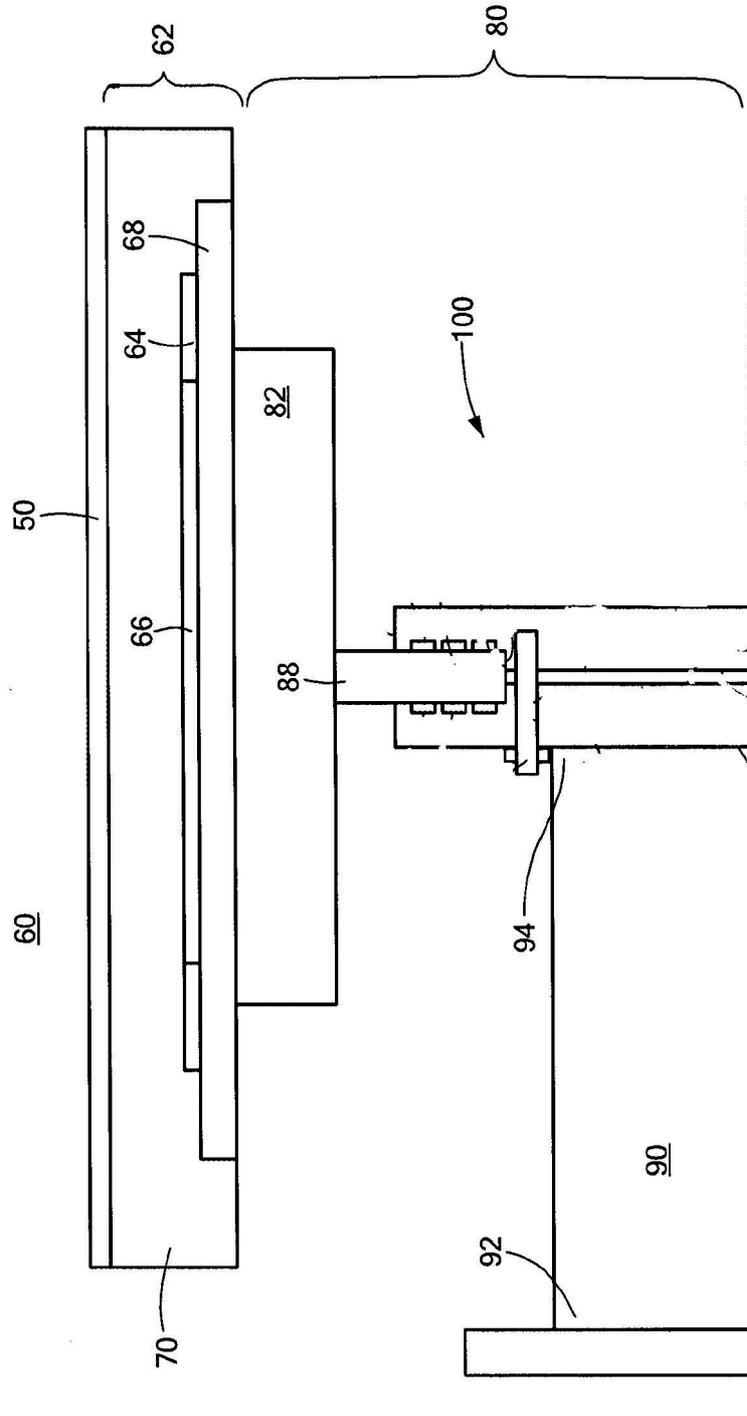
**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**



**FIG. 4**

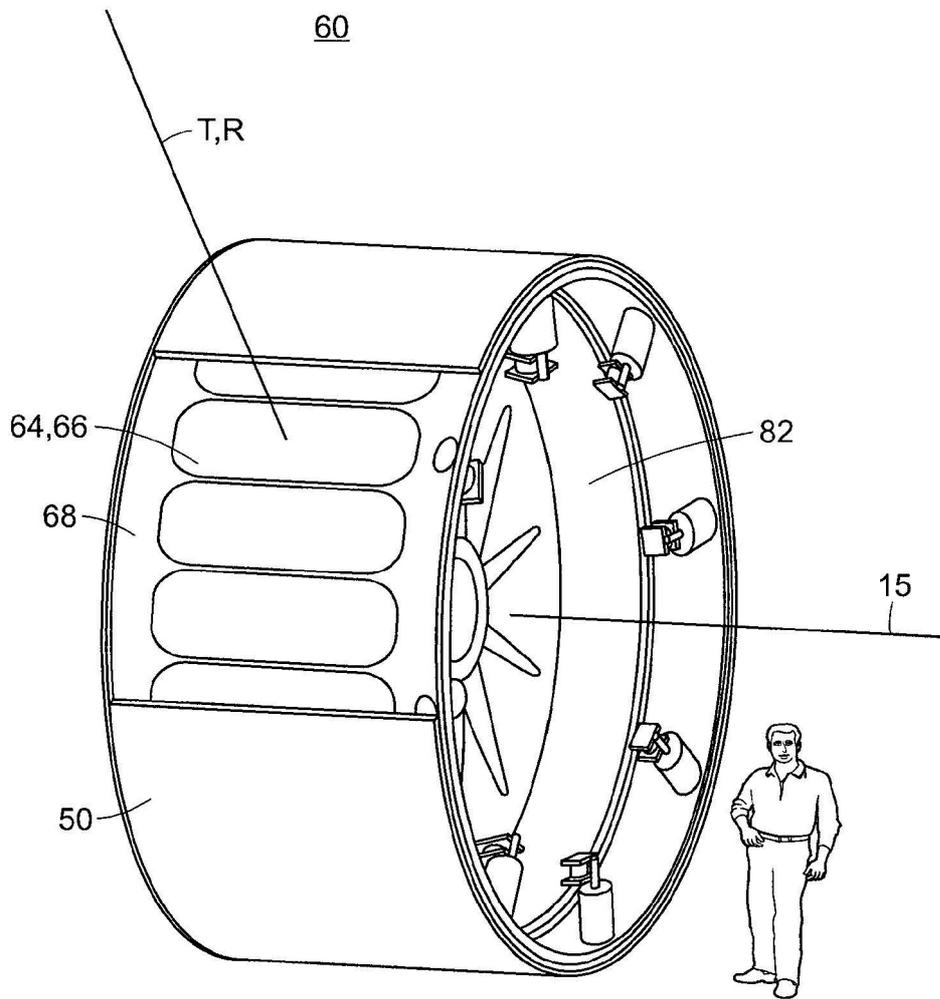


FIG. 5

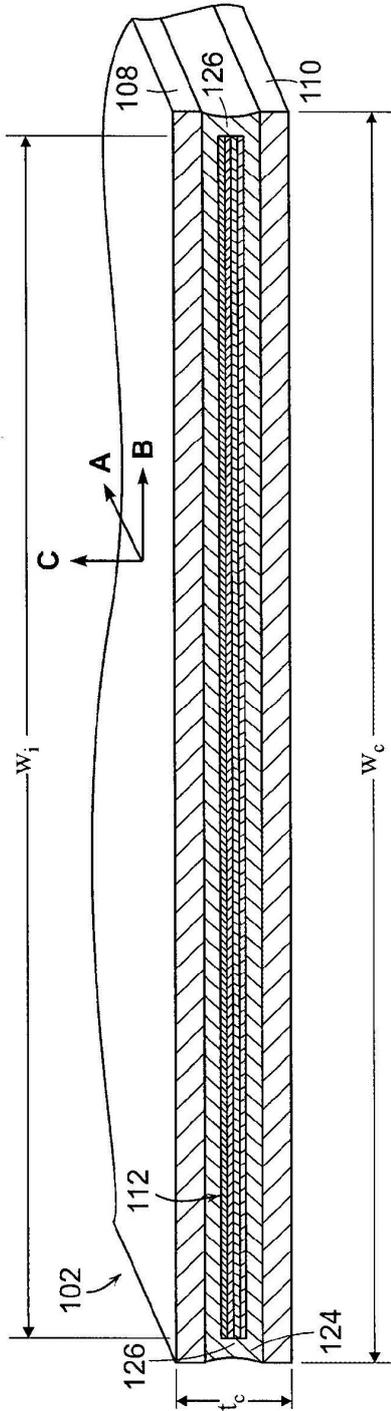


FIG. 6

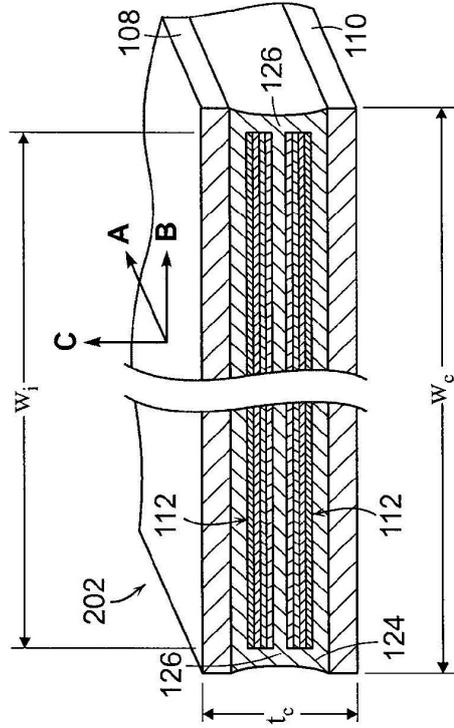


FIG. 9

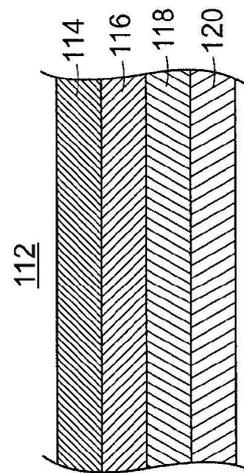


FIG. 7

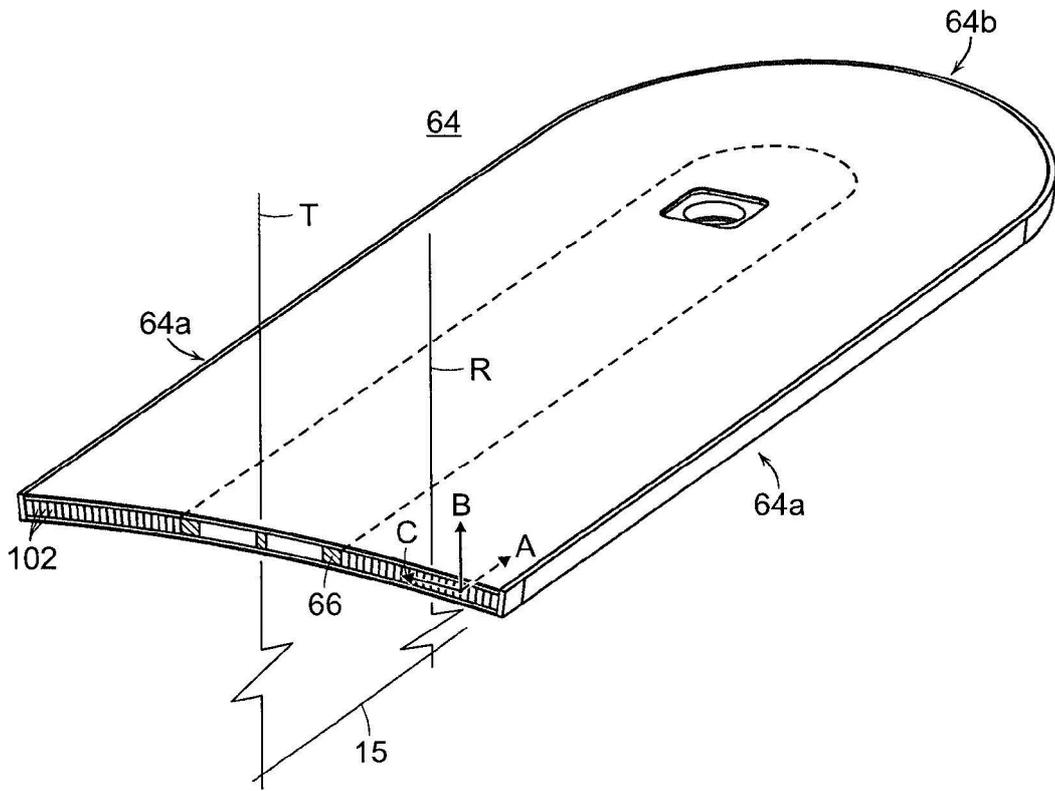


FIG. 8

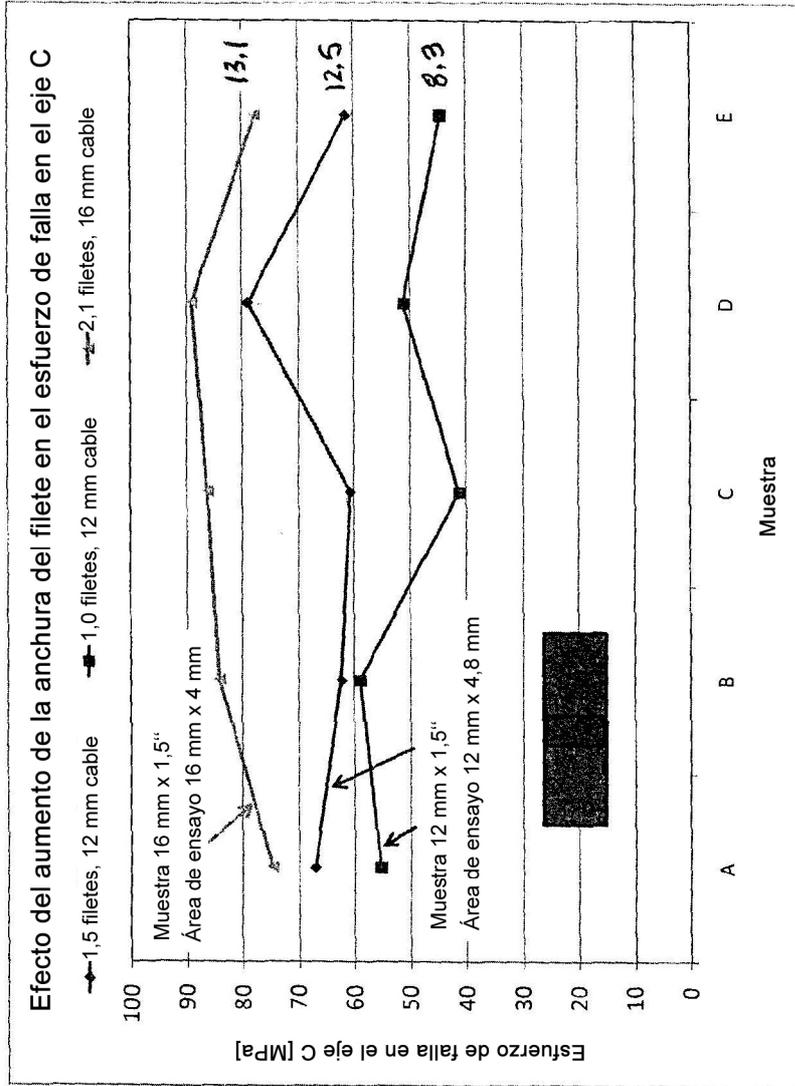


FIG.10

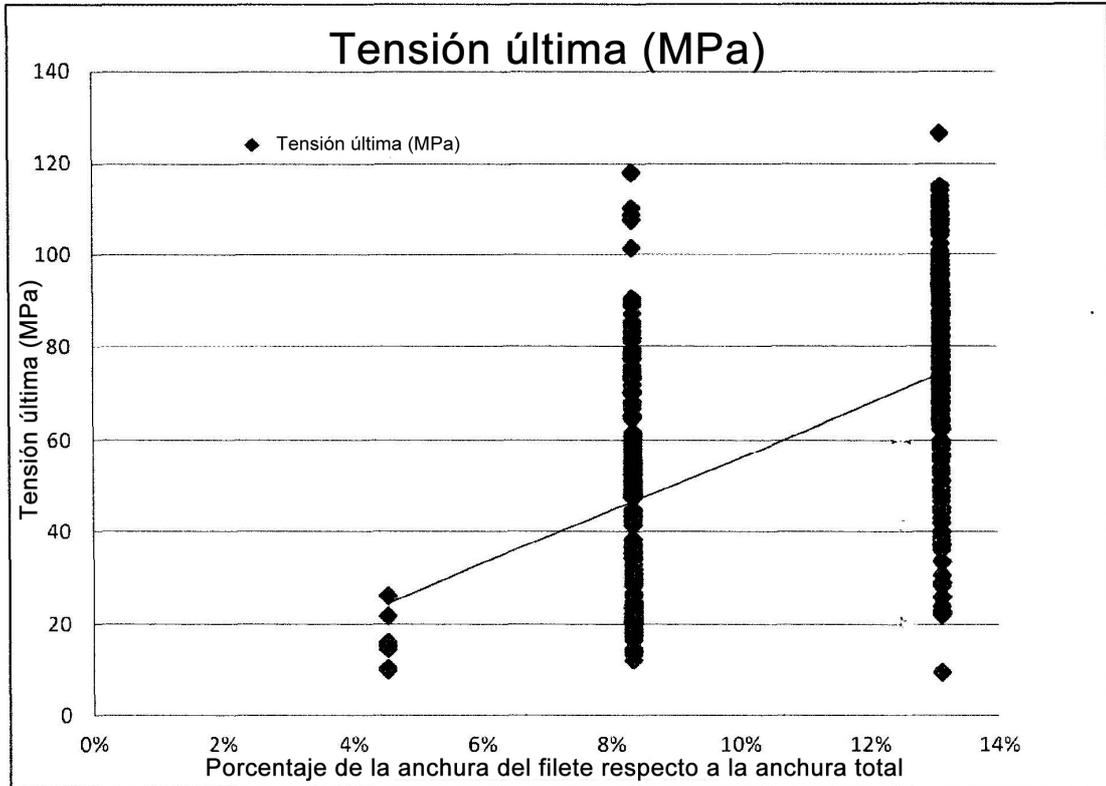


FIG. 11

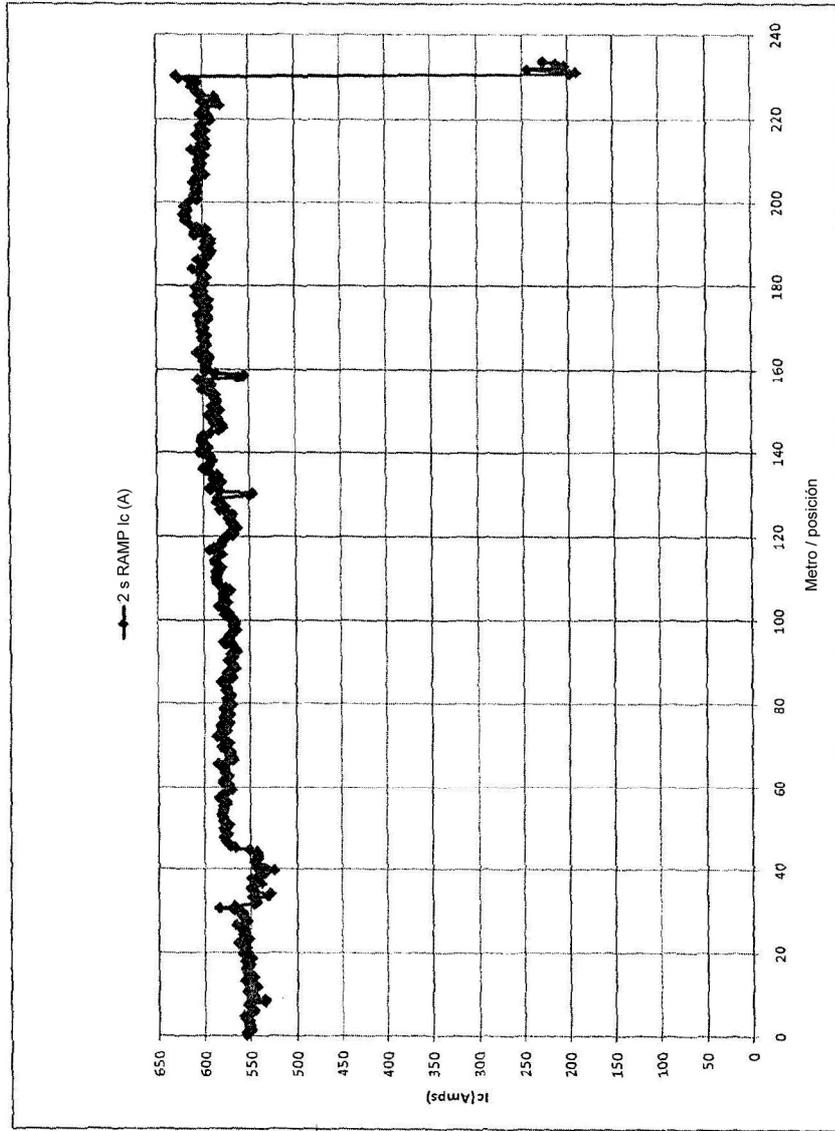


FIG. 12