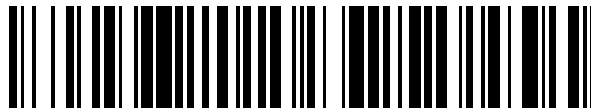


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 694**

51 Int. Cl.:

**H01B 5/10** (2006.01)

**H01B 13/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.04.2005 E 05776353 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2015 EP 1766640**

54 Título: **Cable y método para fabricarlo**

30 Prioridad:

**17.06.2004 US 870262**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.12.2015**

73 Titular/es:

**3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY  
(100.0%)  
3M CENTER, P.O. BOX 33427  
ST. PAUL, MN 55133-3427, US**

72 Inventor/es:

**JOHNSON, DOUGLAS E.,;  
MCCULLOUGH, COLIN y  
DEVE, HERVE E.,**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

**ES 2 552 694 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

Cable y método para fabricarlo

5 **Antecedentes de la invención**

En general, se conocen los materiales compuestos (incluidos los materiales compuestos de matriz metálica [MMC]). Los materiales compuestos incluyen, de forma típica, una matriz reforzada con fibras, partículas, filamentos o fibras (por ejemplo, fibras cortas o largas). Ejemplos de materiales compuestos de matriz metálica incluyen alambres de material compuesto con matriz de aluminio (p. ej., carburo de silicio, carbono, boro, o fibras de alúmina alfa policristalinas incrustadas en una matriz de aluminio), cintas de material compuesto con matriz de titanio (por ejemplo, fibras de carburo de silicio incrustadas en una matriz de titanio), y cintas de material compuesto con matriz de cobre (por ejemplo, carburo de silicio o fibras de boro incrustadas en una matriz de cobre). Ejemplos de materiales compuestos de matriz polimérica incluyen fibras de carbono o de grafito en una matriz de resina epoxídica, fibras de vidrio o de aramida en una resina de poliéster y fibras de carbono y de vidrio en una resina epoxídica.

Un uso de un alambre de material compuesto (por ejemplo, un alambre de material compuesto de matriz metálica) es como elemento de refuerzo en cables de transmisión de energía eléctrica aéreos desnudos. Una demanda típica de cables surge de la necesidad de aumentar la capacidad de transferencia de electricidad en una infraestructura de transmisión existente.

Las prestaciones deseables en los cables para aplicaciones de transmisión aérea de electricidad incluyen resistencia a la corrosión, resistencia medioambiental (por ejemplo, UV y humedad), resistencia a la pérdida de fuerza a temperaturas elevadas, resistencia a la fluencia, así como módulo elástico relativamente alto, baja densidad, bajo coeficiente de expansión térmica, alta conductividad eléctrica y alta resistencia. Aunque se conocen cables de transmisión aérea de electricidad que incluyen alambres de material compuesto con matriz de aluminio, para algunas aplicaciones sigue existiendo una demanda de, por ejemplo, cables con propiedades de flechado más deseables.

30 **Sumario de la invención**

En un aspecto, la presente invención proporciona un cable, que comprende:

un núcleo longitudinal que tiene un coeficiente de expansión térmica y que comprende al menos uno de aramida, cerámica, boro, poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), grafito, carbono, titanio, tungsteno, o aleación con memoria de forma; y una pluralidad de alambres que tiene colectivamente un coeficiente de expansión térmica superior al coeficiente de expansión térmica del núcleo, en donde la pluralidad de alambres comprende al menos uno de alambres de aluminio, alambres de cobre, alambres de aleación de aluminio, o alambres de aleación de cobre, y en donde la pluralidad de alambres se trenza alrededor del núcleo, y en donde el cable tiene un parámetro de esfuerzo no superior a 5 MPa, 4 MPa, 3 MPa, 2 MPa, 1 MPa, o incluso no superior a 0 MPa; en algunas realizaciones, en un intervalo de 0 MPa a 5 MPa, con la condición de que si el núcleo longitudinal comprende alambre de material compuesto de matriz metálica, el núcleo comprende por separado (es decir, sin formar parte del alambre de material compuesto de matriz metálica) al menos uno de aramida, cerámica, boro, poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), grafito, carbono, titanio, tungsteno o aleación con memoria de forma. En algunas realizaciones, la pluralidad de alambres tiene una resistencia a la tensión de ruptura de al menos 90 MPa, o incluso al menos 100 MPa (calculado según la norma ASTM B557/B557M [1999]).

En algunas realizaciones, el núcleo comprende fibras (de forma típica, fibras continuas) de al menos uno de aramida, cerámica, boro, poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), grafito, carbono, titanio, tungsteno o aleación con memoria de forma. En algunas realizaciones, el núcleo comprende un material compuesto que comprende fibras y un material de matriz (p. ej., de metal y/o material polimérico).

Según la presente invención, los siguientes términos se definen como se ha indicado, a menos que se especifique lo contrario en la presente memoria:

“cerámica” significa vidrio, cerámica cristalina, vitrocerámica y combinaciones de las mismas.

“fibra continua” se refiere a una fibra que tiene una longitud que es relativamente infinita en comparación con el diámetro medio de las fibras. De forma típica, esto significa que la fibra tiene una relación de aspecto (es decir, relación de la longitud de la fibra con respecto al diámetro medio de la fibra) de al menos  $1 \times 10^5$  (en algunas realizaciones, al menos  $1 \times 10^6$ , o incluso al menos  $1 \times 10^7$ ). De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más.

“aleación con memoria de forma” se refiere a una aleación de metal que experimenta una transformación martensítica de manera que la aleación de metal puede deformarse mediante un mecanismo de maclado interno por debajo de la temperatura de transformación, en donde dicha deformación es reversible cuando la estructura de la macla vuelve a la fase original al calentarla por encima de la temperatura de transformación.

Los cables según la presente invención son útiles, por ejemplo, como cables de transmisión de electricidad. De forma típica, los cables según la presente invención presentan propiedades de flechado mejoradas (es decir, flechado reducido).

**Descripción de los dibujos**

5 Las Fig. 1-5 son vistas esquemáticas, en sección transversal de realizaciones ilustrativas de cables según la presente invención.

10 La Fig. 6 es una vista esquemática de un aparato de infiltración ultrasónico ilustrativo usado para infiltrar fibras con metales fundidos según la presente invención.

Las Fig. 7, 7A, y 7B son vistas esquemáticas de un aparato de trenzado ilustrativo utilizado para hacer cable según la presente invención.

15 La Fig. 8 es una representación de los datos de flechado del cable para el Ejemplo ilustrativo.

La Fig. 9 es una representación de los datos de flechado del cable para el Ejemplo ilustrativo y el Ejemplo profético 1.

20 La Fig. 10 es una vista esquemática, en sección transversal, de una realización ilustrativa de un cable según la presente invención.

**Descripción detallada**

25 La presente invención se refiere a cables y métodos de fabricación de cables. Una vista en sección transversal de un cable ilustrativo según la presente invención 10 se muestra en la Fig. 1. El cable 10 incluye un núcleo 12 y dos capas de alambres 14 trenzados redondos, en donde el núcleo 12 incluye alambres 16 (como se muestra, alambres de material compuesto).

30 Una vista en sección transversal de otro cable ilustrativo según la presente invención 20 se muestra en la Fig. 2. El cable 20 incluye un núcleo 22 y tres capas de alambres trenzados 24, en donde el núcleo 22 incluye alambres 26 (como se muestra, alambres de material compuesto).

35 Una vista en sección transversal de otro cable ilustrativo según la presente invención 30 se muestra en la Fig. 3. El cable 30 incluye un núcleo 32 y dos capas de alambres 34 trenzados trapezoidales, en donde el núcleo 32 incluye alambres 36 (como se muestra, alambres de material compuesto).

40 Una vista en sección transversal de otro cable ilustrativo según la presente invención 40 se muestra en la Fig. 4. El cable 40 incluye un núcleo 42 y alambres trenzados 44.

En algunas realizaciones, el núcleo tiene un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente 5,5 ppm/°C hasta aproximadamente 7,5 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente -75 °C hasta aproximadamente 450 °C.

45 Ejemplos de materiales que comprenden el núcleo incluyen aramida, cerámica, boro, poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), grafito, carbono, titanio, tungsteno, y/o aleaciones con memoria de forma. En algunas realizaciones, los materiales tienen forma de fibras (normalmente fibras continuas). En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden aramida tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente -6 ppm/°C a aproximadamente 0 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 200 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden cerámica tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente 3 ppm/°C a aproximadamente 12 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 600 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden boro tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente 4 ppm/°C a aproximadamente 6 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 600 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) tiene un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente -6 ppm/°C a aproximadamente 0 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 600 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden grafito tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente -2 ppm/°C a aproximadamente 2 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 600 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden carbono tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente -2 ppm/°C a aproximadamente 2 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 600 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden titanio tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente 10 ppm/°C a 5 aproximadamente 20 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 800 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden tungsteno tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente 8 ppm/°C a aproximadamente 18 ppm/°C en al menos

un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 1000 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden aleación con memoria de forma tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente 8 ppm/°C a aproximadamente 25 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 1000 °C. En algunas realizaciones, los núcleos que comprenden vidrio tienen un coeficiente de expansión térmica longitudinal en un intervalo de aproximadamente 4 ppm/°C a aproximadamente 10 ppm/°C en al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 600 °C.

Ejemplos de fibras para el núcleo incluyen fibras de aramida, fibras de cerámica, fibras de boro, fibras de poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), fibras de grafito, fibras de carbono, fibras de titanio, fibras de tungsteno y/o fibras de aleaciones con memoria de forma.

Las fibras de boro ilustrativas las comercializa, por ejemplo, Textron Specialty Fibers, Inc. de Lowell, MA, EE. UU. De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras continuas de boro tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 80 micrómetros a aproximadamente 200 micrómetros. De forma más típica, el diámetro medio de fibra es no superior a 150 micrómetros, de forma más típica se encuentra en un intervalo de 95 micrómetros a 145 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de boro tienen una resistencia media a la tracción de al menos 3 GPa y/o incluso al menos 3,5 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de boro tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 350 GPa a aproximadamente 450 GPa, o incluso en un intervalo de aproximadamente 350 GPa a aproximadamente 400 GPa.

En algunas realizaciones, las fibras de cerámica tienen una resistencia media a la tracción de al menos 1,5 GPa, 2 GPa, 3 GPa, 4 GPa, 5 GPa, 6 GPa y/o incluso al menos 6,5 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica tienen un módulo en un intervalo de 140 GPa a aproximadamente 500 GPa, o incluso en un intervalo de 140 GPa a aproximadamente 450 GPa.

Las fibras de carbono ilustrativas las comercializa, por ejemplo, Amoco Chemicals, Alpharetta, GA, EE. UU., con el nombre comercial "THORNEL CARBON" en estopas de 2000, 4000, 5000 y 12 000 fibras; Hexcel Corporation, Stamford, CT, EE. UU.; Grafil, Inc., Sacramento, CA, EE. UU. (subsidiaria de Mitsubishi Rayon Co.) con el nombre comercial "PYROFEL"; Toray, Tokio, Japón, con el nombre comercial "TORAYCA"; Toho Rayon of Japan, Ltd., con el nombre comercial "BESFIGHT", Zoltek Corporation, St. Louis, MO, EE. UU., con los nombres comerciales "PANEX" y "PYRON"; e Inco Special Products, Wyckoff, NJ, EE. UU., (fibras de carbono con recubrimiento de níquel), con los nombres comerciales "12K20" y "12K50". De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras de carbono continuas tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 4 micrómetros a aproximadamente 12 micrómetros, de aproximadamente 4,5 micrómetros a aproximadamente 12 micrómetros, o incluso de aproximadamente 5 micrómetros a aproximadamente 10 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de carbono tienen una resistencia media a la tracción de al menos 1,4 GPa, al menos 2,1 GPa, al menos 3,5 GPa, o incluso al menos 5,5 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de carbono tienen un módulo superior a 150 GPa y no superior a 450 GPa, o incluso no superior a 400 GPa.

Las fibras de grafito ilustrativas las comercializa, por ejemplo, BP Amoco, Alpharetta, GA, EE. UU., con el nombre comercial "T-300", en estopas de 1000, 3000, y 6000 fibras. De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras de grafito continuas tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 4 micrómetros a aproximadamente 12 micrómetros, de aproximadamente 4,5 micrómetros a aproximadamente 12 micrómetros, o incluso de aproximadamente 5 micrómetros a aproximadamente 10 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de grafito tienen una resistencia media a la tracción de al menos 1,5 GPa, 2 GPa, 3 GPa, o incluso al menos 4 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de grafito tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 200 GPa a aproximadamente 1200 GPa, o incluso de aproximadamente 200 GPa a aproximadamente 1000 GPa.

Las fibras de titanio ilustrativas las comercializa, por ejemplo, TIMET, Henderson, NV, EE. UU. De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras continuas de titanio tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de 50 micrómetros a aproximadamente 250 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de titanio tienen una resistencia media a la tracción de al menos 0,7 GPa, 1 GPa, 1,5 GPa, 2 GPa, o incluso al menos 2,1 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 85 GPa a aproximadamente 100 GPa, o incluso de aproximadamente 85 GPa a aproximadamente 95 GPa.

Las fibras de tungsteno ilustrativas las comercializa, por ejemplo, California Fine Wire Company, Grover Beach, CA, EE. UU. De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras de tungsteno continuas tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 100 micrómetros a aproximadamente 500 micrómetros, de aproximadamente 150 micrómetros a aproximadamente 500 micrómetros, o incluso de aproximadamente 200 micrómetros a aproximadamente 400 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de tungsteno tienen una resistencia media a la tracción de al menos 0,7 GPa, 1 GPa, 1,5 GPa, 2 GPa, o incluso al

menos 2,3 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de tungsteno tienen un módulo superior a 400 GPa y no superior a aproximadamente 420 GPa, o incluso no superior a 415 GPa.

Las fibras de aleación con memoria de forma ilustrativas las comercializa, por ejemplo, Johnson Matthey, West Whiteland, PA, EE. UU. De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras de aleaciones con memoria de forma continuas tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 50 micrómetros a aproximadamente 400 micrómetros, de aproximadamente 50 a aproximadamente 350 micrómetros, o incluso de aproximadamente 100 micrómetros a 300 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de aleaciones con memoria de forma tienen una resistencia media a la tracción de al menos 0,5 GPa y/o incluso al menos 1 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de aleaciones de memoria de forma tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 20 GPa a aproximadamente 100 GPa, o incluso de aproximadamente 20 GPa a aproximadamente 90 GPa.

Las fibras de aramida ilustrativas las comercializa, por ejemplo, DuPont, Wilmington, DE, EE. UU., con el nombre comercial "KEVLAR". De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras continuas de aramida tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 10 micrómetros a aproximadamente 15 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de aramida tienen una resistencia media a la tracción de al menos 2,5 GPa, 3 GPa, 3,5 GPa, 4 GPa, o incluso al menos 4,5 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de aramida tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 80 GPa a aproximadamente 200 GPa, o incluso de aproximadamente 80 GPa a aproximadamente 180 GPa.

Las fibras de poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) ilustrativas las comercializa, por ejemplo, Toyobo Co., Osaka, Japón, con el nombre comercial "ZYLON". De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras continuas de poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 8 micrómetros a aproximadamente 15 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) tienen una resistencia media a la tracción de al menos 3 GPa, 4 GPa, 5 GPa, 6 GPa, o incluso al menos 7 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 150 GPa a aproximadamente 300 GPa, o incluso de aproximadamente 150 GPa a aproximadamente 275 GPa.

Ejemplos de fibra de cerámica incluyen fibras de óxido de metal (por ejemplo, alúmina), fibras de nitruro de boro, fibras de carburo de silicio, y la combinación de cualquiera de estas fibras. De forma típica, las fibras de óxido cerámico son cerámicas cristalinas y/o una mezcla de cerámica cristalina y vidrio (es decir, una fibra puede contener ambas fases de cerámica cristalina y de vidrio). De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras de cerámica continuas tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 5 micrómetros a aproximadamente 50 micrómetros, de aproximadamente 5 a 25 micrómetros, de aproximadamente 8 micrómetros a aproximadamente 25 micrómetros, o incluso de aproximadamente 8 micrómetros a aproximadamente 20 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen una resistencia media a la tracción de al menos 1,4 GPa, al menos 1,7 GPa, al menos 2,1 GPa y/o incluso al menos 2,8 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen un módulo superior a 70 GPa y aproximadamente no superior a 1000 GPa, o incluso no superior a 420 GPa.

Ejemplos de fibras cerámicas de monofilamento incluyen fibras de carburo de silicio. De forma típica, las fibras de carburo de silicio de monofilamento son cristalinas y/o una mezcla de cerámica cristalina y vidrio (es decir, una fibra puede contener fases tanto de cerámica cristalina como de vidrio). De forma típica, dichas fibras tienen una longitud del orden de al menos 50 metros, e incluso pueden tener longitudes del orden de kilómetros o más. De forma típica, las fibras continuas de carburo de silicio de monofilamento tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 100 micrómetros a aproximadamente 250 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen una resistencia media a la tracción de al menos 2,8 GPa, al menos 3,5 GPa, al menos 4,2 GPa y/o incluso al menos 6 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de cerámica cristalina tienen un módulo superior a 250 GPa y aproximadamente no superior a 500 GPa, o incluso no superior a 430 GPa.

Además, las fibras de vidrio ilustrativas las comercializa, por ejemplo, Coming Glass, Coming NY, EE. UU. De forma típica, las fibras continuas de vidrio tienen un diámetro medio de fibra en un intervalo de aproximadamente 3 micrómetros a aproximadamente 19 micrómetros. En algunas realizaciones, las fibras de vidrio tienen una resistencia media a la tracción de al menos 3 GPa, 4 GPa y/o incluso al menos 5 GPa. En algunas realizaciones, las fibras de vidrio tienen un módulo en un intervalo de aproximadamente 60 GPa a 95 GPa, o de aproximadamente 60 GPa a aproximadamente 90 GPa.

En algunas realizaciones, las fibras de cerámica y de carbono están en estopas. Las estopas son conocidas en la técnica de la fibra y se refieren a una pluralidad de fibras (individuales) (de forma típica, al menos 100 fibras, de forma más típica, al menos 400 fibras) recogidas en forma de mecha. En algunas realizaciones, las estopas comprenden al menos 780 fibras individuales por estopa, y en algunos casos, al menos 2600 fibras individuales por estopa. Las estopas de fibras cerámicas están disponibles en una variedad de longitudes, que incluyen 300 metros, 500 metros, 750 metros, 1000 metros, 1500 metros, 1750 metros y más largas. Las fibras pueden

tener una forma de sección transversal que sea circular o elíptica. En algunas realizaciones de fibras de carbono, las estopas comprenden al menos 2000, 5000, 12.000, o incluso al menos 50.000 fibras individuales por estopa.

5 Las fibras de alúmina se describen, por ejemplo, en US-4.954.462 (Wood et al.) y US-5.185/29 (Wood et al.). En algunas realizaciones, las fibras de alúmina son fibras policristalinas de alúmina alfa y comprenden, sobre una base teórica de óxido, más del 99 por ciento en peso de  $Al_2O_3$  y 0,2-0,5 por ciento en peso de  $SiO_2$ , basado en el peso total de las fibras de alúmina. En otro aspecto, algunas fibras policristalinas de alúmina alfa deseables comprenden alúmina alfa que tiene un tamaño medio de grano de menos de 1 micrómetro (o incluso, en algunas realizaciones, de menos de 0,5 micrómetros). En otro aspecto, en algunas realizaciones, las fibras policristalinas de alúmina alfa tienen una resistencia media a la tracción de al menos 1,6 GPa (en algunas realizaciones, al menos 2,1 GPa, o incluso, al menos 2,8 GPa). Las fibras de alúmina alfa ilustrativas se comercializan con el nombre comercial "NEXTEL 610" de 3M Company, St. Paul, MN, EE. UU.

15 Las fibras de aluminosilicato se describen, por ejemplo, en US-4.047.965 (Karst et al.). Las fibras de aluminosilicato las comercializa 3M Company of St. Paul, MN, EE. UU., con los nombres comerciales "NEXTEL 440", "NEXTEL 550", y "NEXTEL 720".

20 Las fibras de aluminoborosilicato se describen, por ejemplo, en US-3.795.524 (Sowman). Las fibras de aluminoborosilicato ilustrativas las comercializa 3M Company con el nombre comercial "NEXTEL 312".

Las fibras de nitruro de boro se pueden hacer, por ejemplo, como se describe en US-3.429.722 (Economy) y US-5.780.154 (Okano et al.).

25 Las fibras de carburo de silicio ilustrativas las comercializa, por ejemplo, COI Ceramics, San Diego, CA, EE. UU, con el nombre comercial "NICALON" en estopas de 500 fibras; Ube Industries, Japón, con el nombre comercial "TYRANNO"; y Dow Corning, Midland, MI, EE. UU., con el nombre comercial "SYLRAMIC".

30 Las fibras de monofilamento de carburo de silicio ilustrativas las comercializa, por ejemplo, Textron Specialty Materials, Lowell, MA, EE. UU., con el nombre comercial "SCS-9", "SCS-6" y "Ultra-SCS", y Atlantic Research Corporation, Gainesville, VA, EE. UU., con el nombre comercial "Trimarc".

35 Las fibras comercializadas incluyen, de forma típica, un encolado de material orgánico añadido a la fibra durante la fabricación para proporcionar lubricidad y para proteger las hebras de las fibras durante su manipulación. El encolado también puede ayudar en la manipulación durante la extrusión por estirado con polímeros para hacer alambres con un núcleo de material compuesto polimérico. El encolado puede eliminarse, por ejemplo, disolviendo o quemando el encolado para separarlo de las fibras. De forma típica, es deseable eliminar el encolado antes de formar alambres de material compuesto de matriz metálica.

40 Las fibras pueden tener revestimientos utilizados, por ejemplo, para mejorar la humectabilidad de las fibras, para reducir o evitar la reacción entre las fibras y el material de matriz de metal fundido. Dichos revestimientos y técnicas para proporcionar dichos revestimientos son conocidos en la técnica de las fibras y del material compuesto.

45 En algunas realizaciones, al menos el 85% en número (en algunas realizaciones, al menos el 90%, o incluso al menos el 95%) de las fibras del núcleo son continuas.

50 Los materiales de matriz ilustrativos para núcleos y alambres de material compuesto incluyen polímeros (por ejemplo, epoxis, ésteres, ésteres de vinilo, poliimidas, poliésteres, ésteres de cianato, resinas fenólicas, resinas de bismaleimida y termoplásticos) y metal(es) (p. ej., de alta pureza, [p. ej., superior al 99,95%] de aluminio elemental o aleaciones de aluminio puro con otros elementos, como el cobre). De forma típica, se selecciona el material de matriz metálica de forma que el material de la matriz no reaccione químicamente con la fibra de forma significativa (es decir, es relativamente inerte frente a las sustancias químicas con respecto al material de fibra), por ejemplo, para eliminar la necesidad de proporcionar una capa protectora sobre la fibra exterior. Los materiales de matriz metálica ilustrativos incluyen aluminio, zinc, estaño, magnesio y sus aleaciones (p. ej., una aleación de aluminio y cobre). En algunas realizaciones, el material de matriz incluye, deseablemente, aluminio y sus aleaciones.

55 En algunas realizaciones, la matriz metálica comprende al menos un 98 por ciento en peso de aluminio, al menos un 99 por ciento en peso de aluminio, más de un 99,9 por ciento en peso de aluminio, o incluso más de un 99,95 por ciento en peso de aluminio. Las aleaciones de aluminio ilustrativas de aluminio y cobre comprenden, al menos, un 98 por ciento en peso de Al y hasta un 2 por ciento en peso de Cu. En algunas realizaciones, las aleaciones útiles son aleaciones de aluminio de serie 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 y/u 8000 (designaciones de la Aluminum Association de EE. UU.). Aunque los metales con mayor pureza tienden a ser deseables para la fabricación de alambres con mayor resistencia a la tracción, también son útiles los metales con formas menos puras.

65 Existen metales adecuados que pueden obtenerse comercialmente. Por ejemplo, Alcoa, Pittsburgh, PA, EE. UU., comercializa aluminio con el nombre comercial "SUPER PURE ALUMINIUM; 99,99% Al". Las aleaciones de aluminio (por ejemplo, Al-2% en peso de Cu [0,03% en peso de impurezas]) pueden obtenerse, por ejemplo, en Belmont Metals,

Nueva York, NY, EE. UU. El zinc y el estaño los comercializa, por ejemplo, Metal Services, St. Paul, MN, EE. UU., ("zinc puro"; 99,999% de pureza y "estaño puro"; 99,95% de pureza). Por ejemplo, Magnesium Elektron, Manchester, Inglaterra, comercializa magnesio con el nombre comercial "PURE". Las aleaciones de magnesio (por ejemplo, WE43A, EZ33A, AZ81A, y ZE41A) pueden obtenerse, por ejemplo, en TIMET, Denver, CO, EE. UU.

Los núcleos y alambres de material compuesto comprenden, de forma típica, al menos un 15 por ciento en volumen (en algunas realizaciones, al menos un 20, 25, 30, 35, 40, 45, o incluso un 50 por ciento en volumen) de fibras, basado en el volumen total combinado del material de las fibras y de la matriz. De forma más típica, los núcleos y alambres de material compuesto comprenden un intervalo del 40 al 75 (en algunas realizaciones, del 45 al 70) por ciento en volumen de fibras, basado en el volumen total combinado del material de las fibras y de la matriz.

De forma típica, el diámetro medio del núcleo está en un intervalo de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 15 mm. En algunas realizaciones, el diámetro medio deseable del núcleo es de al menos 1 mm, al menos 2 mm, o incluso hasta aproximadamente 3 mm. De forma típica, el diámetro medio del alambre de material compuesto está en un intervalo de aproximadamente 1 mm a 12 mm, 1 mm a 10 mm, de 1 a 8 mm, o incluso de 1 mm a 4 mm. En algunas realizaciones, el diámetro medio deseable del alambre de material compuesto es de al menos 1 mm, al menos 1,5 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm, 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm, o incluso al menos 12 mm.

Los núcleos y alambres de material compuesto pueden fabricarse usando procedimientos conocidos en la técnica. El alambre de material compuesto de matriz metálica continua puede fabricarse, por ejemplo, mediante procesos de infiltración de matriz metálica continua. Se describe un proceso adecuado, por ejemplo, en US-6.485.796 (Carpenter et al.). Los alambres que comprenden polímeros y fibra pueden fabricarse mediante procesos de estirado por extrusión que son conocidos en la técnica.

Se muestra un esquema de un aparato ilustrativo 60 para la fabricación de un alambre de matriz metálica continua en la Fig. 6. Se proporcionan estopas de fibras continuas 61 desde las bobinas 62 de suministro, que se coliman en un haz circular mientras las fibras, que se limpian por calor, pasan a través de un horno tubular 63. Las estopas de fibras 61 se evacuan entonces en una cámara 64 de vacío antes de entrar en un crisol 67 que contiene una masa fundida 65 de material de matriz metálica (también denominado aquí como "metal fundido"). Las estopas de fibras 61 se extraen de las bobinas 62 de suministro por un estirador 70. Se coloca una sonda ultrasónica 66 en la sustancia fundida 65 cerca de la fibra para ayudar en la infiltración de la masa fundida 65 en las estopas de fibras 61. El metal fundido del alambre 71 se enfría y se solidifica después de salir del crisol 67 a través de una matriz 68 de salida, aunque parte del enfriado puede ocurrir antes de que el alambre 71 salga totalmente del crisol 67. El enfriado del alambre 71 se refuerza mediante corrientes de gas o líquido distribuidas a través de un dispositivo 69 de enfriado que inciden en el alambre 71. El alambre 71 se recoge en la bobina 72.

Como se ha mencionado, la limpieza de la fibra mediante calor elimina o reduce la cantidad de encolado, agua absorbida y otros materiales fugitivos o volátiles que puedan estar presentes en la superficie de las fibras. De forma típica, es deseable limpiar las fibras mediante calor hasta que el carbono contenido en la superficie de las fibras sea inferior al 22% en fracción de área. De forma típica, la temperatura del horno tubular 63 es de al menos 300 °C, de forma más típica, de al menos 1000 °C, y la fibra reside en el horno tubular 63 durante al menos varios segundos a una temperatura, aunque la(s) temperatura(s) particular(es) y el (los) tiempo(s) pueden depender, por ejemplo, de las necesidades de limpieza de la fibra particular que se esté utilizando.

En algunas realizaciones, las estopas de fibras 61 se evacuan antes de llegar a introducirse en la masa fundida 67, puesto que se ha observado que el uso de dicha evacuación tiende a reducir o eliminar la formación de defectos, tales como regiones localizadas con fibras secas (es decir, regiones de fibras sin infiltración de la matriz). De forma típica, las estopas de fibras 61 se evacuan en un vacío no superior a 3 kPa (20 torr), no superior a 1 kPa (10 torr), no superior a 0,1 kPa (1 torr), o incluso no superior a 0,09 kPa (0,7 torr) en algunas realizaciones.

Un sistema 64 de vacío adecuado ilustrativo tiene un tubo de entrada dimensionado para que coincida con el diámetro del haz de estopas de fibras 61. El tubo de entrada puede ser, por ejemplo, un tubo de acero inoxidable o un tubo de alúmina, y de forma típica mide al menos, aproximadamente, de 20-30 cm de largo. Una cámara 64 de vacío adecuada tiene, de forma típica, un diámetro en el intervalo de aproximadamente 2-20 cm, y una longitud en el intervalo de aproximadamente 5-100 cm. La capacidad de la bomba de vacío es, en algunas realizaciones, al menos de aproximadamente 0,2-1 metros cúbicos/minuto. Las estopas de fibras 61 evacuadas se insertan en la masa fundida 65 a través de un tubo en el sistema 64 de vacío que penetra en el baño de metal (es decir, el haz evacuado de estopas de fibras 61 están en vacío cuando se introducen en la masa fundida 65), aunque la masa fundida 65 está, de forma típica, a presión atmosférica. El diámetro interior del tubo de salida coincide, esencialmente, con el diámetro del haz de estopas de fibras 61. Una parte del tubo de salida se sumerge en el metal fundido. En algunas realizaciones, se sumerge en el metal fundido alrededor de 0,5-5 cm del tubo. El tubo se selecciona para que sea estable en el material de metal fundido. Ejemplos de tubos que son adecuados de forma típica incluyen tubos de nitruro de silicio y de alúmina.

La infiltración de metal fundido 65 en un haz de estopas de fibras 61 se refuerza, de forma típica, por el uso de ultrasonidos. Por ejemplo, el cilindro vibrador 66 se coloca en el metal fundido 65 para que esté muy próximo al haz de estopas de fibras 61.

En algunas realizaciones, el cilindro 66 se acciona para que vibre en el intervalo de aproximadamente 19,5-20,5 kHz y una amplitud en el aire de aproximadamente 0,13-0,38 mm (0,005-0,015 pulg.). Además, en algunas realizaciones, el cilindro se conecta a una guía de ondas de titanio que, a su vez, se conecta al transductor ultrasónico (comercializado, por ejemplo, por Sonics & Materials, Danbury, GT, EE. UU).

En algunas realizaciones, los haces de estopas de fibras 61 se encienden a aproximadamente 2,5 mm (en algunas realizaciones hasta aproximadamente 1,5 mm) de la punta del cilindro. La punta del cilindro se hace, en algunas realizaciones, de niobio o aleaciones de niobio, como 95% en peso de Nb-5% en peso de Mo y 91% en peso de Nb-9% en peso de Mo, y puede obtenerse, por ejemplo, en PMTI, Pittsburgh, PA, EE. UU. La aleación puede moldearse, por ejemplo, en un cilindro de 12,7 cm de longitud (5 pulg.) y 2,5 cm de diámetro (1 pulg.). Se puede sintonizar el cilindro en una frecuencia de vibración deseada (p. ej. de aproximadamente 19,5-20,5 kHz) alterando su longitud. Para detalles adicionales con respecto al uso de ultrasonidos para fabricar artículos de material compuesto de matriz metálica, consúltese, por ejemplo, US-4.649.060 (Ishikawa et al.), US-4.779.563 (Ishikawa et al.), y US-4.877.643 (Ishikawa et al.), US-6.180.232 (McCullough et al.), US-6.245.425 (McCullough et al.), US-6.336.495 (McCullough et al.), US-6.329.056 (Deve et al.), US-6.344.270 (McCullough et al.), US-6.447.927 (McCullough et al.), US-6.460.597 (McCullough et al.), US-6.485.796 (Carpenter et al.), y US-6.544.645 (McCullough et al.); Solicitud US-09/616.741, presentada el 14 de julio de 2000; y solicitud PCT con Número de Publicación WO 02/06550, publicada el 24 de enero 2002.

De forma típica, el metal fundido 65 se desgasifica (p. ej., reduciendo la cantidad de gas [por ejemplo, hidrógeno en aluminio] disuelto en el metal fundido 65 durante y/o antes de la infiltración. Las técnicas para la degasificación del metal fundido 65 son muy conocidas en la técnica de procesamiento de metal. La degasificación de la masa fundida 65 tiende a reducir la porosidad producida por el gas en el alambre. Para el aluminio fundido, la concentración de hidrógeno de la masa fundida 65 es, en algunas realizaciones, inferior a aproximadamente 0,2, 0,15, o incluso inferior a aproximadamente 0,1 cm<sup>3</sup>/100 gramos de aluminio.

La matriz 68 de salida está configurada para proporcionar el diámetro de alambre deseado. De forma típica, se desea tener un alambre uniformemente redondo a lo largo de su longitud. Por ejemplo, el diámetro de una matriz de salida de nitruro de silicio para un alambre de aluminio de material compuesto que contenga un 58 por ciento en volumen de fibras de alúmina es igual que el diámetro del alambre 71. En algunas realizaciones, la matriz 68 de salida se hace, de forma deseada, de nitruro de silicio, aunque pueden servir otros materiales. Otros materiales que han sido utilizados como matrices de salida en la técnica incluyen alúmina convencional. Sin embargo, los solicitantes han descubierto que las matrices de salida de nitruro de silicio se desgastan significativamente menos que las matrices de alúmina convencionales, y por ello son más útiles para proporcionar la forma y el diámetro deseados del alambre, particularmente con longitudes de alambre muy grandes.

De forma típica, el alambre 71 se enfría después de salir de la matriz 68 de salida poniendo en contacto el alambre 71 con un líquido (por ejemplo, agua) o gas (por ejemplo, nitrógeno, argón, o aire) distribuido a través de un dispositivo 69 de enfriado. Este enfriado ayuda a proporcionar las características deseables de redondez, uniformidad y ausencia de huecos. El alambre 71 se recoge en la bobina 72.

Se sabe que la presencia de imperfecciones en el alambre de material compuesto de matriz metálica, como fases intermetálicas; fibra seca; porosidad como resultado de, por ejemplo, una contracción o huecos internos producidos por un gas (p. ej., hidrógeno o vapor de agua); etc. puede disminuir las propiedades, como la resistencia del alambre. Por lo tanto, es deseable reducir o minimizar la presencia de tales características.

Para núcleos compuestos por alambres, en algunas realizaciones, es deseable mantener los alambres juntos, por ejemplo, mediante una cinta de recubrimiento, con o sin adhesivo, o mediante un aglutinante (véase, p. ej., US-6.559.385 B1 [Johnson et al]). Por ejemplo, en la Fig. 5 se muestra una vista en sección transversal de otro cable ilustrativo según la presente invención 50, que tiene un núcleo envuelto con una cinta. 5. El cable 50 incluye un núcleo 52 y dos capas de alambres trenzados 54, en donde el núcleo 52 incluye alambres 56 (como se muestra, alambres de material compuesto) envueltos con una cinta 55. Por ejemplo, el núcleo puede fabricarse trenzando (por ejemplo, devanando de forma helicoidal) una primera capa de alambres alrededor de un alambre central utilizando técnicas conocidas en la técnica. De forma típica, los núcleos devanados helicoidalmente tienden a comprender tan solo de 7 a 50 alambres individuales, o más. El equipo de trenzado es conocido en la técnica (p. ej., cableadoras planetarias, como las que comercializa Cortinovis, Spa, Bérgamo, Italia, y Watson Machinery International, Patterson, Nueva Jersey, EE. UU.). Antes de devanarlos juntos de forma helicoidal, los alambres individuales se colocan en las bobinas separadas que luego se disponen en diversos carros accionados por motor del equipo de trenzado. De forma típica, hay un carro para cada capa de cable trenzado acabado. Los alambres de cada capa se unen en la salida de cada carro y se disponen sobre el primer alambre central o sobre la capa anterior. Durante el proceso de trenzado del cable, el alambre central, o el cable trenzado intermedio sin terminar que tendrá una o más capas adicionales enrolladas alrededor de él, se arrastra a través del centro de los diversos carros, con cada carro añadiendo una capa al cable trenzado. Los alambres individuales que se van a añadir como capa se arrastran simultáneamente desde sus respectivas bobinas mientras giran alrededor del eje central del cable mediante el carro accionado por motor. Esto se hace de forma secuencial para cada capa deseada. Se puede



aplicar una cinta, por ejemplo, al núcleo trenzado resultante, que ayude a mantener unidos los alambres trenzados. Una máquina ilustrativa para aplicar una cinta sería la que comercializa Watson Machine International (p. ej., el modelo 300 Concentric Taping Head). Las cintas ilustrativas incluyen cinta de hoja de metal (por ejemplo, cinta de papel de aluminio [disponible, por ejemplo, en 3M Company, St Paul, MN, EE. UU con el nombre comercial "Foil/Glass Cloth Tape 363"]), cinta con soporte de poliéster y cinta con soporte reforzado de vidrio. En algunas realizaciones, la cinta tiene un grosor en un intervalo de 0,05 mm a 0,13 mm (0,002 a 0,005 pulgadas).

En algunas realizaciones, la cinta se envuelve de manera que cada envoltura sucesiva quede en contacto con la envoltura anterior sin un hueco y sin solapamiento. En algunas realizaciones, por ejemplo, la cinta puede envolverse de manera que las envolturas sucesivas estén espaciadas para dejar un hueco entre cada envoltura.

Los núcleos, alambres de material compuesto, cables, etc., tienen una longitud de al menos 100 metros, de al menos 200 metros, de al menos 300 metros, de al menos 400 metros, de al menos 500 metros, de al menos 600 metros, de al menos 700 metros, de al menos 800 metros, o incluso de al menos 900 metros.

En la técnica son conocidos los alambres para trenzar alrededor de un núcleo para proporcionar un cable según la presente invención. Los alambres de aluminio los comercializa, por ejemplo, Nexans, Weyburn, Canadá o Southwire Company, Carrollton, GA, EE. UU, con los nombres comerciales "1350-H19 ALUMINUM" y "1350-H0 ALUMINUM". De forma típica, el alambre de aluminio tiene un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de aproximadamente 20 ppm/°C a aproximadamente 25 ppm/°C durante al menos un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 500 °C. En algunas realizaciones, los alambres de aluminio (por ejemplo, "1350-H19 ALUMINUM") tienen una resistencia a la tracción de al menos 138 MPa (20 ksi), al menos 158 MPa (23 ksi), al menos 172 MPa (25 ksi) o al menos 186 MPa (27 ksi), o al menos 200 MPa (29 ksi.). En algunas realizaciones, los alambres de aluminio (por ejemplo, "1350-H0 ALUMINUM") tienen una resistencia a la tracción superior a 41 MPa (6 ksi) hasta no superior a 97 MPa (14 ksi), o incluso no superior a 83 MPa (12 ksi). Los alambres de aleación de aluminio los comercializa, por ejemplo, Sumitomo Electric Industries, Osaka, Japón, con el nombre comercial "ZTAL", o Southwire Company, Carrollton, GA, EE. UU, con la designación "6201". En algunas realizaciones, los alambres de aleación de aluminio tienen un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de aproximadamente 20 ppm/°C a aproximadamente 25 ppm/°C en un intervalo de temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 500 °C. Los alambres de cobre los comercializa, por ejemplo, Southwire Company, Carrollton, GA, EE. UU. De forma típica, los alambres de cobre tienen un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de aproximadamente 12 ppm/°C a aproximadamente 18 ppm/°C en un intervalo de temperatura de al menos aproximadamente 20 °C a aproximadamente 800 °C. Los alambres de aleaciones de cobre (por ejemplo, bronce de cobre como Cu-Si-X, Cu-Al-X, Cu-Sn-X, Cu-Cd; donde X = Fe, Mn, Zn, Sn y/o Si; los comercializa, por ejemplo, Southwire Company, Carrollton, GA, EE. UU.; el cobre resistente a la dispersión de óxido lo comercializa, por ejemplo, OMG Americas Corporation, Research Triangle Park, NC, EE. UU., con el nombre "GLIDCOP"). En algunas realizaciones, los alambres de aleación de cobre tienen un coeficiente de expansión térmica en un intervalo de aproximadamente 10 ppm/°C a aproximadamente 25 ppm/°C en un intervalo de temperatura de al menos aproximadamente 20 °C a aproximadamente 800 °C. Los alambres pueden tener varias formas (por ejemplo, circular, elíptica y trapezoidal).

En general, un cable según la presente invención puede fabricarse trenzando alambres sobre un núcleo. El núcleo puede incluir, por ejemplo, un solo alambre o varios alambres trenzados (p. ej., devanados helicoidalmente). En algunas realizaciones, por ejemplo, 7, 19 o 37 alambres. Un aparato ilustrativo 80 para la fabricación de un cable según la presente invención se muestra en las Figs. 7, 7A, y 7B. Se proporciona una bobina de material 81 de núcleo en la cabeza de una cableadora 80 planetaria convencional, en donde la bobina 81 gira libremente, con una tensión capaz de aplicarse a través de un sistema de frenado en el que la tensión puede aplicarse al núcleo durante el desenrollado, en algunas realizaciones, en el intervalo de -0,9 kN (0-91 kg [(0-200 lb)]. El núcleo 90 se hila a través de carros 82, 83 de bobina, a través de las matrices 84, 85 de cierre, alrededor de unas ruedas 86 de cabrestante y se une a la bobina 87 de recogida.

Antes de la aplicación de las capas trenzadas superiores, se proporcionan los alambres individuales en bobinas 88 separadas que se colocan en varios carros 82, 83 accionados por motor del equipo cableador. En algunas realizaciones, el intervalo de tensión requerida para tirar del alambre 89A, 89B de las bobinas 88 es, de forma típica, 0,04-0,2 kN (4,5-22,7 kg [10-50 lb]). De forma típica, hay un carro para cada capa de cable trenzado acabado. Los alambres 89A, 89B de cada capa se unen en la salida de cada carro en una matriz 84, 85 de cierre y se disponen sobre el alambre central o sobre la capa anterior. Las capas se trenzan de forma helicoidal en direcciones opuestas de forma que la capa exterior queda en una disposición hacia la derecha. Durante el proceso de trenzado del cable, el alambre central, o el cable trenzado intermedio sin terminar que tendrá una o más capas adicionales enrolladas alrededor de él, se arrastra a través del centro de los diversos carros, con cada carro añadiendo una capa al cable trenzado. Los alambres individuales que se van a añadir como capa se arrastran simultáneamente desde sus respectivas bobinas mientras giran alrededor del eje central del cable mediante el carro accionado por motor. Esto se hace de forma secuencial para cada capa deseada. El resultado es un cable trenzado 91 de forma helicoidal que puede cortarse y manipularse convenientemente sin que pierda su forma o se desenrede.

Esta capacidad de manejar el cable trenzado es una característica deseable. Sin pretender imponer ninguna teoría, el cable mantiene su disposición de trenzado helicoidal porque durante la fabricación, los alambres metálicos se someten

a tensiones, incluidas las tensiones de flexión, por encima de la tensión de fluencia del material del alambre, pero por debajo de la tensión de rotura o fallo. Esta tensión se imparte mientras el alambre se devana helicoidalmente alrededor del radio relativamente pequeño de la capa anterior o del alambre central. Se imparten tensiones adicionales en las matrices 84, 85 de cierre que aplican al cable fuerza radial y fuerza transversal durante la fabricación. Los alambres, por lo tanto, se deforman plásticamente y mantienen su forma helicoidalmente trenzada.

El material del núcleo y los alambres para una capa dada se ponen en contacto íntimo a través de las matrices de cierre. Con referencia a las Fig. 7A y 7B, las matrices 84A, 85A de cierre tienen unas dimensiones, de forma típica, que minimizan las tensiones de deformación en los alambres de la capa que se está devanando. El diámetro interno de la matriz de cierre se adapta al tamaño del diámetro de la capa externa. Para minimizar las tensiones en los alambres de la capa, la matriz de cierre tiene una dimensión que se encuentra en el intervalo de 0-2,0% más grande con respecto al diámetro externo del cable, (es decir, los diámetros interiores de la matriz se encuentran en el intervalo de 1,00 a 1,02 veces el diámetro del cable exterior). Las matrices de cierre ilustrativas mostradas en las Figs. 7A y 7B son cilindros, y se mantienen en posición, por ejemplo, utilizando pernos u otras fijaciones adecuadas. Las matrices pueden hacerse, por ejemplo, de acero endurecido para herramientas.

El cable resultante terminado puede pasar a través de otras estaciones de trenzado, si se desea, y en última instancia devanarse en una bobina 87 de recogida de diámetro suficiente para evitar daños en el cable. En algunas realizaciones, pueden ser deseables los procedimientos conocidos en la técnica para enderezar el cable. Por ejemplo, el cable terminado puede pasarse a través de un dispositivo enderezador compuesto por rodillos (cada rodillo midiendo, por ejemplo, 10-15 cm [4-6 pulgadas], y estando linealmente dispuesto en dos bancos, con, por ejemplo, 5-9 rodillos en cada banco. La distancia entre los dos bancos de rodillos puede variar de forma que los rodillos incidan justo en el cable o causen una flexión importante del cable. Los dos bancos de rodillos se colocan en los lados opuestos del cable, con los rodillos de un banco en correspondencia con los espacios creados por los rodillos opuestos del otro banco. Por lo tanto, los dos bancos pueden desplazarse entre sí. Mientras el cable pasa a través del dispositivo enderezador, el cable se flexiona hacia atrás y hacia adelante sobre los rodillos, permitiendo que los hilos se estiren en el conductor hasta tener la misma longitud, reduciendo o eliminando con ello hilos holgados.

En algunas realizaciones, para facilitar el que se pueda aplicar al cable un parámetro de tensión inferior a cero, es deseable proporcionar el núcleo a una temperatura elevada (por ejemplo, al menos 25 °C, 50 °C, 75 °C, 100 °C, 125 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 400 °C, o incluso, en algunas realizaciones, al menos 500 °C) por encima de la temperatura ambiente (p. ej., 22 °C). El núcleo puede alcanzar la temperatura deseada, por ejemplo, calentando el núcleo bobinado (por ejemplo, el núcleo en metal [p. ej., acero] en un horno durante varias horas. El núcleo bobinado calentado se coloca en la bobina de desenrollado (véase, p. ej., la bobina 81 de desenrollado en la Fig. 7) de una cableadora. De forma deseada, la bobina está en el proceso de trenzado a una temperatura elevada mientras que el núcleo todavía está o se acerca a la temperatura deseada (de forma típica alrededor de 2 horas). Además, puede ser deseable que los alambres de las bobinas de desenrollado que forman las capas exteriores del cable estén a temperatura ambiente. Es decir, es deseable tener un diferencial de temperatura entre el núcleo y los alambres que forman la capa exterior durante el proceso de trenzado.

En algunas realizaciones, puede ser deseable realizar el trenzado con una tensión en el núcleo de al menos 1 kN, 2 kN, 5 kN, 10 kN (100 kg, 200 kg, 500 kg, 1000 kg), o incluso al menos 50 kN (5000 kg).

En algunas realizaciones de cables según la presente invención (p. ej., cables que tengan un parámetro de tensión inferior a cero) es deseable mantener juntos los cables que están trenzados alrededor del núcleo, por ejemplo, mediante un recubrimiento de cinta, con o sin adhesivo, o un aglutinante. Por ejemplo, una vista en sección transversal de otro cable ilustrativo según la presente invención 110 se muestra en la Fig. 10. El cable 110 incluye un núcleo 112 con un núcleo 116 de alambres y dos capas de alambres trenzados 114, en donde el cable 110 se envuelve con una cinta 118. Una cinta se puede aplicar, por ejemplo, al cable trenzado resultante para ayudar a mantener unidos los alambres trenzados. En algunas realizaciones, el cable se envuelve con cinta adhesiva usando un equipo de encintado convencional. Una máquina ilustrativa para aplicar una cinta sería la que comercializa Watson Machine International (p. ej., el modelo 300 Concentric Taping Head). Las cintas ilustrativas incluyen cinta de hoja de metal (por ejemplo, cinta de papel de aluminio (disponible, por ejemplo, en 3M Company, St Paul, MN, EE. UU con el nombre comercial "Foil/Glass Cloth Tape 363")), cinta con soporte de poliéster y cinta con soporte reforzado de vidrio. En algunas realizaciones, la cinta tiene un grosor en un intervalo de 0,05 mm a 0,13 mm (0,002 a 0,005 pulgadas).

En algunas realizaciones, la cinta está envuelta de forma que cada envoltura sucesiva se superponga con la anterior. En algunas realizaciones, la cinta se envuelve de manera que cada envoltura sucesiva quede en contacto con la envoltura anterior sin un hueco y sin solapamiento. En algunas realizaciones, por ejemplo, la cinta puede envolverse de manera que las envolturas sucesivas estén espaciadas para dejar un hueco entre cada envoltura.

En algunas realizaciones, el cable se envuelve mientras está bajo tensión durante el proceso de trenzado. Con referencia a la Fig. 7, por ejemplo, el equipo de encintado se encuentra entre la matriz 85 de cierre final y el cabrestante final 86.

Método de medición del flechado

Se selecciona una longitud de un conductor de 30-300 metros de longitud y se termina con accesorios expoxídicos convencionales, asegurando que las capas mantengan sustancialmente las mismas posiciones relativas que en el estado de fabricación. Los cables exteriores se extienden a través de los accesorios de epoxi y hacia fuera por el otro lado, y después se reconstituyen para permitir la conexión a una alimentación de CA usando conectores terminales convencionales. Los accesorios epoxi se vierten en unos receptáculos de aluminio y aleación de cinc que están conectados a tornillos tensores para mantener la tensión. Por un lado, una celda de carga se conecta a un tornillo tensor y luego, en ambos extremos, los tornillos tensores se unen a unas argollas de tracción. Las argollas se conectaron a grandes pilares de hormigón, lo suficientemente grandes como para reducir al mínimo las deflexiones finales del sistema cuando está bajo tensión. Para la prueba, la tensión se estira hasta un valor en un intervalo del 10 al 30 por ciento de la resistencia a la rotura nominal del conductor. La temperatura se mide en tres zonas a lo largo de la longitud del conductor (a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia del tramo total [de argolla de tracción a argolla de tracción]) usando nueve termopares. En cada zona, los tres termopares se colocan en tres posiciones radiales diferentes dentro del conductor; entre los hilos exteriores, entre los hilos internos, y adyacentes a (es decir, en contacto con) los alambres externos del núcleo. Los valores de flechado se miden en tres zonas a lo largo de la longitud del conductor (a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia del tramo) usando potenciómetros de tracción del alambre (disponible en Space Age Control, Inc, Palmdale, CA, EE. UU.). Estos se disponen para medir el movimiento vertical de las tres zonas. La corriente CA se aplica al conductor para aumentar la temperatura al valor deseado. La temperatura del conductor se eleva de la temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C [68 °F]) hasta aproximadamente 240 °C (464 °F) a una velocidad en el intervalo de 60-120 °C/minuto (140-248 °F/minuto). La temperatura más alta de todos los termopares se utiliza como control.

El valor de flechado del conductor (flechado total) se calcula a diversas temperaturas en intervalos de un grado desde la temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C [68 °F]) hasta aproximadamente 240 °C (464 °F) usando la siguiente ecuación:

$$Flechado_{total} = Flechado_{1/2} - \left( \frac{Flechado_{1/4} + Flechado_{3/4}}{2} \right) \quad (1)$$

Donde:

Flechado<sub>1/2</sub> = Flechado medido a 1/2 de la distancia del tramo del conductor

Flechado<sub>1/4</sub> = Flechado medido a 1/4 de la distancia del tramo del conductor

Flechado<sub>3/4</sub> = Flechado medido a 3/4 de la distancia del tramo del conductor

La longitud efectiva del “tramo interno” es la distancia horizontal entre las posiciones 1/4 y 3/4. Esta es la longitud del tramo usada para calcular el flechado.

Derivación del parámetro de tensión

Los datos de la temperatura y el flechado medidos están representados como un gráfico de flechado frente a temperatura. Se ajusta una curva calculada a los datos medidos utilizando el método gráfico Alcoa Sag10 disponible en un programa de software de Alcoa Fujikura Ltd., Greenville, SC, EE. UU., con el nombre comercial “SAG10” (versión 3.0 actualización 3.9.7). El parámetro de tensión es un parámetro de ajuste en “SAG10” denominado “tensión de aluminio acumulada”, que puede alterarse para ajustarse a otros parámetros si el material utilizado no es aluminio (por ejemplo, aleación de aluminio), y que ajusta la posición del punto de inflexión de la gráfica predicha así como la cantidad de flechado en un régimen de alta temperatura posterior al punto de inflexión. Se proporciona una descripción de la teoría del parámetro de tensión en el manual del usuario de Alcoa Sag10 (Versión 2.0): Teoría de la tensión de compresión en conductores de aluminio reforzado con acero ACSR. Se requieren los siguientes parámetros del conductor para introducirlos en el software Sag10: área, diámetro, peso por unidad de longitud, y resistencia a la rotura nominal. Se requieren las siguientes condiciones de carga de línea para introducir las en el software Sag10: longitud del tramo, tensión inicial a temperatura ambiente (20-25 °C). Se requieren los siguientes parámetros para introducirlos en el software Sag10 para ejecutar el cálculo de tensión de compresión: tensión acumulada del alambre, área del alambre (como fracción del área total), número de capas de alambre en el conductor, número de hilos en el conductor, número de hilos del núcleo, relaciones de cableado de cada capa de alambre. Se requieren los coeficientes de tensión-deformación para introducirlos en el software “SAG10” como tabla (ver Tabla 1, a continuación).

Tabla 1

Alambre inicial					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
Alambre final (10 años de fluencia)					
B0	B1	B2	B3	B4	$\alpha(A1)$
Núcleo inicial					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
Núcleo final (10 años de fluencia)					
D0	D1	D2	D3	D4	A (núcleo)

También se especifica un parámetro TREF que es la temperatura a la que los coeficientes hacen referencia.

5

Definición de los polinomios de la curva de tensión-deformación

Los primeros cinco números A0-A4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la relación del área con respecto al tiempo del alambre inicial:

10

$$\frac{A_{Alambre}}{A_{total}} \cdot \sigma_{AlambreInicial} = A0 + A1\varepsilon + A2\varepsilon^2 + A3\varepsilon^3 + A4\varepsilon^4 \quad (2)$$

AF es el módulo final del alambre

15

$$\frac{A_{Alambre}}{A_{total}} \cdot \sigma_{AlambreFinal} = AF\varepsilon \quad (3)$$

En donde  $\varepsilon$  es la elongación del conductor en % y  $\sigma$  es la tensión en psi

20

B0-B4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la curva final de fluencia de 10 años de la relación del área con respecto a los tiempos del alambre.

$$\frac{A_{Alambre}}{A_{total}} \cdot \sigma_{AlambreFinal} = B0 + B1\varepsilon + B2\varepsilon^2 + B3\varepsilon^3 + B4\varepsilon^4 \quad (4)$$

25

C  $\alpha$  (A1) es el coeficiente de expansión térmica del alambre.

C0-C4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la curva inicial de la relación del área con respecto a los tiempos solo del núcleo de material compuesto.

30

CF es el módulo final del alambre

D0-D4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la curva final de fluencia de 10 años de la relación del área con respecto a los tiempos del núcleo de material compuesto.

35

$\alpha$  (núcleo) es el coeficiente de expansión térmica del núcleo de material compuesto.

Ajustando los datos calculados y medidos, el mejor ajuste es aquel en el que coincide (i) la curva calculada con los datos medidos mediante la variación del valor del parámetro de tensión, de manera que las curvas coincidan con altas temperaturas (140-240 °C), (ii) el punto de inflexión (knee-point) de la curva medida que se acerca

bastante a la curva calculada, y (iii) se requiere que el flechado inicial calculado coincida con el flechado medido inicial. De esta manera se obtiene el valor del parámetro de tensión para lograr el mejor ajuste a los datos medidos. Este resultado es el “parámetro de tensión” del cable.

- 5 El cable según la presente invención se puede utilizar en una variedad de aplicaciones, incluida la de cables de transmisión de energía eléctrica aéreos.

Las ventajas y realizaciones de la presente memoria se ilustran además por los siguientes ejemplos, aunque los materiales y sus cantidades particulares citados en dichos ejemplos, así como otras condiciones y detalles, no deberán interpretarse como una limitación indebida de la presente invención. Todas las partes y porcentajes están expresados en peso a no ser que se indique lo contrario.

### Ejemplos

#### 15 Ejemplo ilustrativo

El alambre para el cable del Ejemplo ilustrativo se preparó de la siguiente manera. El alambre se hizo usando un aparato 60 mostrado en la Fig. 6. Once (11) estopas de fibras de 10.000 denier de alúmina alfa (comercializadas por 3M Company, St. Paul, EE. UU., con el nombre comercial “NEXTEL 610”) se suministraron desde bobinas 62 de alimentación colimadas en un haz circular y limpiadas mediante calor pasando a través de un largo tubo 63 de alúmina que mide 1,5 m (5 pies) calentado a 1100 °C a 305 cm/min (120 pulg./min). Las fibras 61 que se limpiaron con calor se evacuaron luego en una cámara 64 de vacío antes de entrar en el crisol 67 que contenía masa fundida (metal fundido) 65 de material de matriz de aluminio metálica (99,99% Al) (obtenido de Beck Aluminum Co., Pittsburgh, PA, EE. UU.). Las fibras se arrastraron desde las bobinas 62 de suministro por estirador 70. Se colocó una sonda ultrasónica 66 en la masa fundida 65 cerca de la fibra para ayudar en la infiltración de la masa fundida 65 en las estopas de fibras 61. El metal fundido del alambre 71 se enfrió y se solidificó después de salir del crisol 67 a través de una matriz 68 de salida, aunque parte del enfriado puede ocurrir antes de que el alambre 71 saliese totalmente del crisol 67. Además, el enfriado del alambre 71 se reforzó mediante corrientes de gas o líquido distribuidos a través de un dispositivo 69 de enfriado, dichas corrientes incidieron en el alambre 71. El alambre 71 se recogió en la bobina 72.

Las fibras 61 se evacuaron antes de entrar en la masa fundida 67. La presión en la cámara de vacío fue de aproximadamente 3 kPa (20 torr). El sistema 64 de vacío tenía un tubo de entrada de alúmina de 25 cm de largo dimensionado para coincidir con el diámetro del haz de fibras 61. La cámara 64 de vacío medía 21 cm de largo y 10 cm de diámetro. La capacidad de la bomba de vacío era de 0,37 m<sup>3</sup>/minuto. Las fibras evacuadas 61 se introdujeron en la masa fundida 65 a través de un tubo en el sistema 64 de vacío que penetró en el baño de metal (es decir, las fibras evacuadas 61 estaban en vacío cuando se introdujeron en la masa fundida 54). El diámetro interior del tubo de salida coincide con el diámetro del haz de fibras 61. Una porción del tubo de salida se sumergió en el metal fundido a una profundidad de 5 cm.

La infiltración del metal fundido 65 en las fibras 61 se realizó mediante un cilindro vibratorio 66 dispuesto en el metal fundido 65 de manera que se encontrara muy próximo a las fibras 61. Se accionó el cilindro 66 para que vibrara a 19,7 kHz con una amplitud en el aire de 0,18 mm (0,007 pulg.). El cilindro estaba conectado a una guía de ondas de titanio que, a su vez, estaba conectado al transductor ultrasónico (obtenido de Sonics & Materials, Danbury CT, EE. UU.).

Las fibras 61 se encontraban alrededor de 2,5 mm de la punta del cilindro. La punta del cilindro estaba hecha de una aleación de niobio con una composición de 91% en peso de Nb y 9% en peso de Mo (obtenido de PMTI, Pittsburgh, PA, EE. UU.). La aleación se conformó en un cilindro de 12,7 cm de largo (5 pulg.) y 2,5 cm (1 pulg.) de diámetro. El cilindro se sintonizó a una frecuencia de vibración deseada de 19,7 kHz alterando su longitud.

El metal fundido 65 se desgasificó (por ejemplo, reduciendo la cantidad de gas [por ejemplo, hidrógeno] disuelto en metal fundido) antes de la infiltración. Se utilizó una unidad de desgasificación giratoria portátil comercializada por Brummund Foundry Inc, Chicago, IL, EE. UU. El gas utilizado fue argón, el caudal del argón fue de 1050 litros por minuto, la velocidad proporcionada por el caudal de aire al motor se fijó en 50 litros por minuto, y la duración fue de 60 minutos.

La matriz 68 de salida de nitruro de silicio se configuró para proporcionar el diámetro de alambre deseado. El diámetro interno de la matriz de salida fue de 2,67 mm (0,105 pulg.).

El núcleo trenzado se trenzó en un equipo de trenzado en Wire Rope Company en Montreal, Canadá. El cable tenía un alambre en el centro, y seis alambres en la primera capa con una disposición hacia la derecha. Antes de devanarlos juntos de forma helicoidal, los alambres individuales se colocaron en bobinas separadas que luego se dispusieron en un carro accionado por motor del equipo de trenzado. El carro sostuvo las seis bobinas para la capa de cable trenzado acabado. Los alambres de la capa se unieron en la salida del carro y se dispusieron sobre el alambre central. Durante el proceso de trenzado del cable, el alambre central se sacó por el centro del carro, añadiendo el carro una capa al cable trenzado. Los alambres individuales que se añadieron como una capa se arrastraron simultáneamente desde sus respectivas bobinas mientras giraban alrededor del eje central del cable mediante el carro accionado por motor. El resultado fue un núcleo trenzado helicoidalmente.

## ES 2 552 694 T3

El núcleo trenzado se envolvió con cinta adhesiva usando un equipo convencional de encintado (modelo 300 Concentric Taping Head de Watson Machine International, Paterson, NJ, EE. UU.). El soporte de la cinta era una cinta de papel de aluminio con fibra de vidrio, y tenía un adhesivo de silicona sensible a la presión (obtenida con el nombre comercial "Foil/Glass Cloth Tape 363" de 3M Company, St. Paul, MN, EE. UU.). El espesor total de la cinta 18 fue de 0,18 mm (0,0072 pulgadas). La cinta medía 1,90 cm (0,75 pulgadas) de ancho.

El diámetro medio del núcleo acabado fue de 0,324 pulgadas (8,23 mm) y la longitud de disposición de la capa trenzada fue de 21,3 pulgadas (54,1 cm).

Los primeros alambres de aleación de aluminio trapezoidales se prepararon a partir de una varilla de aluminio/circonio (9,53 mm [0,375 pulgadas] de diámetro; obtenida de Lamifil NV, (Hemiksem, Bélgica con el nombre comercial "ZTAL") con una resistencia a la tracción de 153,95 MPa (22.183 psi), un alargamiento del 13,3%, y una conductividad eléctrica de 60,4% IACS. El segundo alambre trapezoidal se fabricó a partir de una varilla de aluminio/circonio de 9,53 mm (0,375 pulgadas) de diámetro ("ZTAL") con una resistencia a la tracción de 132,32 MPa (19.191 psi), un alargamiento del 10,4%, y una conductividad eléctrica de 60,5% IACS. Las varillas se trefilaron a temperatura ambiente usando cinco matrices intermedias como se conoce en la técnica, y finalmente una matriz de conformado de forma trapezoidal. Las matrices de trefilado estaban hechas de carburo de tungsteno. La geometría de la matriz de carburo de tungsteno tenía un ángulo de entrada de 60°, un ángulo de reducción de 16-18°, una longitud de apoyo de 30% del diámetro de la matriz, y un ángulo de alivio posterior de 60°. La superficie de la matriz estaba muy pulida. La matriz se lubricó y se enfrió usando un aceite de trefilado. El sistema de trefilado distribuyó el aceite a una velocidad ajustada en el intervalo de 60-100 litros por minuto por matriz, con la temperatura ajustada en el intervalo de 40-50 °C. La última matriz de formación se componía de dos aceros endurecidos horizontales (60 RC de dureza) formando rodillos, con superficies de trabajo muy pulidas. El diseño de las ranuras de los rodillos se basó en el perfil trapezoidal requerido. Los rodillos se instalaron en un soporte de rodillos que se colocó entre la caja de estiraje y el bloque de estiraje exterior. La reducción final del rodillo de conformación redujo el área del alambre aproximadamente un 23,5%. La cantidad de reducción del área fue suficiente para mover el metal a las esquinas de las ranuras del rodillo y llenar adecuadamente el espacio entre los rodillos de conformación. Los rodillos de conformación se alinearon e instalaron de forma que el remate de los alambres trapezoidales estaba orientado hacia las superficies del bloque de estiraje y del tambor de la bobina. Después de la formación, se comprobó el perfil del alambre y se verificó usando una plantilla.

A continuación, este alambre se enrolló en bobinas. En la siguiente Tabla 2 se indican propiedades del alambre resultante. El "diámetro efectivo" de la forma trapezoidal se refiere al diámetro de un círculo que tiene la misma área que el área de sección transversal de la forma trapezoidal. Había 20 bobinas cargadas en el equipo de trenzado (8 de los primeros alambres para trenzar la primera capa interior), 12 de los segundos alambres para trenzar la segunda capa exterior) y el alambre se tomó de un subconjunto de estas, que fueron las "bobinas para la toma de muestras" para probarlo.

Tabla 2

	Diámetro efectivo, mm (pulgadas)	Resistencia a la tensión, MPa (psi)	Elongación, %	Conductividad, % IACS
Capa interna				
Alambre 1ª Bobina	4,54 (0,1788)	168,92 (24.499)	5,1	59,92
Alambre 4ª Bobina	4,54 (0,1788)	159,23 (23.095)	4,3	60,09
Alambre 8ª Bobina	4,54 (0,1788)	163,39 (23.697)	4,7	60,18
Capa externa				
Alambre 1ª Bobina	4,70 (0,1851)	188,32 (27.314)	4,7	60,02
Alambre 4ª Bobina	4,70 (0,1851)	186,27 (27.016)	4,3	60,09
Alambre 8ª Bobina	4,70 (0,1851)	184,73 (26.793)	4,3	60,31
Alambre 12ª Bobina	4,70 (0,1851)	185,50 (26.905)	4,7	59,96

Nexans, Weyburn, SK, EE. UU., hizo un cable usando una cableadora planetaria convencional y el núcleo y los alambres (interior y exterior) descritos anteriormente para el Ejemplo comparativo. Se muestra un esquema del aparato 80 para fabricar cable en las Figs. 7, 7A y 7B.

La bobina del núcleo 81 se dispuso en la cabeza de una máquina de trenzado planetaria convencional 80, en donde la bobina 81 estaba libre para girar, con una tensión que podía aplicarse a través de un sistema de frenado. La tensión aplicada al núcleo durante el desenrollado fue de 0,4 kN (45 kg [100 lb]). El núcleo se sometió a temperatura ambiente (aproximadamente 23 °C [73 °F]). El núcleo se hiló a través del centro de los carros 82, 83 de bobina, a través de las matrices 84, 85 de cierre, alrededor de las ruedas 86 del cabrestante y se unió a la bobina 87 de recogida convencional (152 cm [60 pulg.] de diámetro).

## ES 2 552 694 T3

- Antes de la aplicación de las capas 89 de trenzado superiores, se proporcionaron alambres individuales en bobinas 88 separadas que estaban dispuestas en varios carros 82, 83 accionados por motor del equipo de trenzado. El rango de tensión requerido para tirar del alambre 89 de las bobinas 88 se fijó en el intervalo de 0,11-0,14 kN (11-14 kg [25-30 lb]). Las estaciones de trenzado están formadas por un carro y una matriz de cierre. En cada estación de trenzado, los alambres 89 de cada capa se unen en la salida de cada carro en cada una de las matrices 84, 85 de cierre, respectivamente, y se dispusieron sobre el alambre central o sobre la capa anterior, respectivamente. Por lo tanto, el núcleo pasó a través de dos estaciones de trenzado. En la primera estación 8 los alambres se trenzaron sobre el núcleo con una disposición hacia la izquierda. En la segunda estación 12 los alambres se trenzaron sobre la capa anterior con una disposición hacia la derecha.
- El material del núcleo y los alambres para una capa dada se pusieron en contacto a través de una matriz 84, 85 de cierre, según procediera. Las matrices de cierre eran cilindros (ver Figs. 7A y 7B) y se mantuvieron en posición mediante pernos. Las matrices se hicieron de acero para herramientas endurecido, y se pudieron cerrar completamente.
- El cable terminado se pasó a través de las ruedas 86 del cabrestante, y en última instancia se devanaron en una bobina 87 de enrollado (de 91 cm de diámetro [36 pulgadas]). El cable terminado se pasó a través de un dispositivo enderezador compuesto por rodillos (cada rodillo midiendo, por ejemplo, 12,5 cm [5 pulgadas]), y se dispusieron linealmente en dos bancos, con 7 rodillos en cada banco. La distancia entre los dos bancos de rodillos se ajustó de forma que los rodillos solo incidieran en el cable. Los dos bancos de rodillos se colocaron en los lados opuestos del cable, con los rodillos de un banco en correspondencia con los espacios creados por los rodillos opuestos en el otro banco. Por lo tanto, los dos bancos se desplazaban entre sí. Mientras el cable pasaba a través del dispositivo enderezador, el cable se flexionó hacia atrás y hacia adelante sobre los rodillos, permitiendo que los hilos se estirasen en el conductor hasta tener la misma longitud, eliminando hilos holgados.
- La capa interna estaba formada por 8 alambres trapezoidales con una capa de diámetro exterior de 15,4 mm (0,608 pulg.), una masa por unidad de longitud de 353 kg/km (237 lb/Kft.) con disposición hacia la izquierda 20,3 cm (8 pulg.). Los bloques de cierre (hechos de acero endurecido para herramientas; dureza 60 Rc) para la capa interna se ajustaron con un diámetro interno de 15,4 mm (0,608 pulg.). Por lo tanto, los bloques de cierre se fijaron exactamente con el mismo diámetro que el diámetro del cable.
- La capa externa estaba formada por 12 alambres trapezoidales con una capa de diámetro exterior de 22,9 mm (0,9015 pulg.), una masa por unidad de longitud de 507,6 kg/km (341,2 lb/Kft.) con la disposición hacia la derecha 25,9 cm (10,2 pulg.). La masa total por unidad de longitud de alambres de aleación de aluminio fue de 928,8 kg/km (624,3 lb/Kft.), la masa total por unidad de longitud del núcleo fue de 136,4 kg/km (91,7 lb/Kft.) y la masa total del conductor por unidad de longitud fue de 1065 kg/km (716,0 lb/Kft.). Los bloques de cierre (hechos de acero endurecido para herramientas; dureza 60 Rc) para la capa externa se ajustaron con un diámetro interno de 0,9015 pulg. (22,9 mm). Por lo tanto, los bloques de cierre se fijaron con exactamente el mismo diámetro que el diámetro del cable final.
- La tensión del alambre interior y del alambre exterior (como bobinas de desenrollado) se midió utilizando un dinamómetro manual (comercializado por McMaster-Card, Chicago, IL, EE. UU.) y se ajustaron en el intervalo de 0,132-0,15 kN (13,5-15 kg [29-33 lb]) y la tensión de desenrollado del núcleo se ajustó utilizando el mismo método de medición que el de las bobinas en aproximadamente 0,9 kN (90 kg [198 lb]). Además, no se utilizó ningún enderezador, y el cable no se bobinó, sino que se estiró y se dispuso en el suelo. El núcleo se sometió a temperatura ambiente (aproximadamente 23 °C [73 °F]).
- La cableadora se hizo funcionar a 15m/min. (49 pies/min.), controlada mediante ruedas de cabestrantes convencionales, un dispositivo estándar de enderezamiento y una bobina de recogida convencional de 152 cm (60 pulg.) de diámetro.
- El conductor resultante se probó usando el siguiente “Método de Prueba de Corte Final”. Se colocó una sección del conductor de prueba estirado en el suelo, y se sujetó una subsección de 3,1-4,6 m (10-15 pies) de largo por ambos extremos. A continuación, el conductor se cortó para aislar la sección, todavía sujeta a ambos extremos. Después, se soltó una abrazadera y no se observó ningún movimiento en la capa. Entonces, se inspeccionó la sección del conductor para comprobar el movimiento relativo de las capas. Se midió el movimiento de cada capa con una regla para determinar la cantidad de movimiento en relación con el núcleo. Las capas exteriores de aluminio se retrajeron en relación con el núcleo de material compuesto; tomando el núcleo como la posición de referencia cero, la capa interna de aluminio se retrajo 4 mm (0,16 pulg.) y la capa exterior se retrajo 8 mm (0,31 pulg.).
- El cable del Ejemplo Ilustrativo también se evaluó por Kinectrics, Inc. Toronto, Ontario, Canadá, utilizando el siguiente “Método de Prueba de Flechado I”. Se terminó una longitud de conductor con accesorios epoxi convencionales, asegurando que las capas mantuvieran sustancialmente sus posiciones relativas como en la etapa de fabricación, excepto los alambres de aluminio/circonio que se extendieron a través de los accesorios epoxi y hacia fuera por el otro lado, y después se reconstituyeron para permitir la conexión a una alimentación de CA usando conectores terminales convencionales. Los accesorios de epoxi se vertieron en unos receptáculos de aluminio y aleación de cinc que estaban conectados a un tornillo tensor para mantener la tensión. Por un lado, se conectó una celda de carga (5000 kilogramos [kg] de capacidad) a un tornillo tensor y luego los tornillos tensores se unieron a unas argollas tracción por ambos extremos. Las argollas se conectaron a grandes pilares de hormigón, lo

suficientemente grandes como para reducir al mínimo las deflexiones finales del sistema cuando está bajo tensión. Para la prueba, la tensión se estiró hasta el 20% de la resistencia a la rotura nominal del conductor. Así, se aplicaron al cable 20,42 kN (2.082 kg [4.590 lb]). La temperatura se midió en tres zonas a lo largo de la longitud del conductor (a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia del tramo total [de argolla de tracción a argolla de tracción]) usando nueve termopares (tres en cada zona; de tipo J comercializados por Omega Corporation, Stamford, CT, EE. UU.). En cada zona, los tres termopares se dispusieron en tres posiciones radiales diferentes dentro del conductor; entre los hilos de aluminio exteriores, entre los hilos de aluminio interiores, y adyacentes a (es decir, en contacto con) los alambres externos del núcleo. Los valores de flechado se midieron en tres zonas a lo largo de la longitud del conductor (a 1/4, 1/2 y 3/4 de la distancia del tramo) usando potenciómetros de tracción del alambre (comercializados por Space Age Control, Inc, Palmdale, CA, EE. UU.). Estos se dispusieron para medir el movimiento vertical de las tres zonas. La corriente alterna se aplicó al conductor para incrementar la temperatura al valor deseado. La temperatura del conductor se elevó de la temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C [68 °F]) a aproximadamente 240 °C (464 °F) a una velocidad en el rango de 60-120 °C/minuto (140-248 °F/minuto). La temperatura más alta de todos los termopares se utilizó como control. Se necesitaron alrededor de 1.200 amperios para alcanzar 240 °C (464 °F).

El valor de flechado del conductor (flechado total) se calculó a varias temperaturas utilizando la siguiente ecuación:

$$Flechado_{total} = Flechado_{1/2} - \left( \frac{Flechado_{1/4} + Flechado_{3/4}}{2} \right)$$

Donde:

Flechado<sub>1/2</sub> = Flechado medido a 1/2 de la distancia del tramo del conductor

Flechado<sub>1/4</sub> = Flechado medido a 1/4 de la distancia del tramo del conductor

Flechado<sub>3/4</sub> = Flechado medido a 3/4 de la distancia del tramo del conductor

La Tabla 3 (a continuación) resume los parámetros de la prueba de entrada fijos.

Tabla 3

Parámetro	Valor
Longitud total del tramo	68,6 m (225 pies)
Longitud efectiva del tramo* - m (pies)	65,5 m (215 pies)
Altura del punto fijo del Norte	2,36 m (93,06 pulg.)
Altura del punto fijo del Sur	2,47 m (97,25 pulg.)
Peso del conductor	1,083 kg/m (0,726 lb/pies.)
Tensión inicial (a 20% RTS*)	20,42 kN (2082 kg [4590 lb])
Capacidad de carga de la celda	Carga de la celda 49 kN (5000 kg [1100 lb])

\* resistencia a la tensión nominal

Se determinaron los datos resultantes de flechado y temperatura (“Datos resultantes” para el Ejemplo ilustrativo) y después se ajustó una curva calculada usando el método gráfico Alcoa Sag10 disponible en un programa de software de Alcoa Fujikura Ltd., Greenville, SC, EE. UU., con el nombre comercial “SAG10” (versión 3.0 actualización 3.9.7). El parámetro de tensión fue un parámetro de ajuste en “SAG10” denominado “tensión de aluminio acumulada” que ajustó la posición del punto de inflexión de la gráfica predicha y también la cantidad de flechado en un régimen de elevada temperatura y posterior al punto de inflexión. Se proporcionó una descripción de la teoría del parámetro de tensión en el manual del usuario de Alcoa Sag10 (Versión 2.0): Teoría de la tensión de compresión en conductores de aluminio reforzado con acero ACSR. Se introdujeron los parámetros de conductor para el cable de 675 kcmil, como se muestra en las Tablas 4-7 (a continuación) en el software Sag10. El mejor ajuste unió (i) la curva calculada a los “datos resultantes” mediante la variación del valor del parámetro de tensión, para que las curvas se unieran a altas temperaturas (140-240 °C), y (ii) el punto de inflexión (knee-point) de la curva de “datos resultantes” se uniera cerca de la curva calculada, y (iii) el flechado calculado inicial se necesitó para unir el flechado inicial de los “datos resultantes” (es decir, la tensión inicial a 22 °C [72 °F] es 20,42 kN [2082 kg], produciendo 27,7 cm [10,9 pulgadas] de flechado). Para este ejemplo, el valor de 3,5 MPa (500 psi) para el parámetro de tensión proporcionó el mejor ajuste para los “datos resultantes”. Fig. 8 muestra el flechado calculado por Sag10 (línea 82) y el flechado medido (datos determinados 83).

Los siguientes datos de los conductores se metieron en el software “SAG10”:



# ES 2 552 694 T3

Tabla 4

Parámetros del conductor en SAG10

Área	381,6 mm <sup>2</sup> (0,5915 pulg <sup>2</sup> )
Diámetro	2,3 cm (0,902 pulg.)
Peso	1,083 kg/m (0,726 lb/pies)
RTS:	99.636 N (10.160 kg [22.400 lb])

Tabla 5

Condiciones de carga lineal

Longitud de tramo	65,5 m (215 pies)
Tensión inicial (a 22 °C [72 °F])	20,42 kN (2082 kg [4.590 lb])

Tabla 6

Opciones para el cálculo del esfuerzo de compresión

Tensión intrínseca del aluminio	(3,5 MPa [500 psi])
Área de aluminio (como fracción del área total)	0,8975
Número de capas de aluminio:	2
Número de hilos de aluminio	20
Número de hilos en el núcleo	7
Relaciones de las disposiciones de trenzado	
Capa externa	11
Capa interna	13
Parámetros de tensión-deformación para Sag10; TREF = 22 °C (71 °F)	

5

Parámetros de entrada para la ejecución en el software (ver Tabla 7, a continuación)

Tabla 7

Aluminio inicial					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
17,7	56350,5	-10910,9	-155423	173179,9	79173,1
Aluminio final (10 años de fluencia)					
B0	B1	B2	B3	B4	α (A1)
0	27095,1	-3521,1	141800,8	-304875,5	0,00128
Núcleo inicial					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
-95,9	38999,8	-40433,3	87924,5	-62612,9	33746,7
Núcleo final (10 años de fluencia)					
D0	D1	D2	D3	D4	α(núcleo)
-95,9	38999,8	-40433,3	87924,5	-62612,9	0,000353

10

Definición de los polinomios de la curva de tensión-deformación

Los primeros cinco números A0-A4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la relación del área con respecto al tiempo del aluminio inicial:

15

$$\frac{A_{Alambre}}{A_{total}} \cdot \sigma_{AlambreInicial} = A0 + A1\varepsilon + A2\varepsilon^2 + A3\varepsilon^3 + A4\varepsilon^4$$

AF es el módulo final de aluminio

20

$$\frac{A_{Alambre}}{A_{total}} \cdot \sigma_{AlambreFinal} = AF\varepsilon$$

En donde ε es la elongación del conductor en % y σ es la tensión en psi

B0-B4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la curva final de fluencia de 10 años de la relación del área con respecto a los tiempos del aluminio.

$$\frac{A_{Alambre}}{A_{total}} \cdot \sigma_{AlambreFinal} = B0 + B1\varepsilon + B2\varepsilon^2 + B3\varepsilon^3 + B4\varepsilon^4$$

C α (A1) es el coeficiente de expansión térmica del aluminio.

C0-C4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la curva inicial de la relación del área con respecto a los tiempos solo del núcleo de material compuesto.

CF es el módulo final del alambre

D0-D4 son coeficientes de 4° orden polinomial que representan la curva final de fluencia de 10 años de la relación del área con respecto a los tiempos del núcleo de material compuesto.

α (núcleo) es el coeficiente de expansión térmica del núcleo de material compuesto.

Ejemplo profético 1

Se haría un cable como se describe en el Ejemplo ilustrativo excepto lo siguiente: los alambres trenzados de material compuesto para formar el núcleo consistirían en alambres de material compuesto de fibra de carbono (fibras de carbono en una matriz de resina de amida bismaleica). Estos alambres los comercializa Tokyo Rope Manufacturing Company, Ltd., Tokio, Japón, con el nombre comercial “CFCC”. Los alambres de material compuesto tendrían el mismo diámetro que los alambres de material compuesto del Ejemplo ilustrativo.

**Ejemplo**

El modelo Alcoa Sag10 Method descrito en el ejemplo ilustrativo se utilizó para predecir el comportamiento del flechado frente a la temperatura de los cables descritos en el Ejemplo profético 1. Se generaron las curvas de flechado en función de la temperatura utilizando el modelo Sag10 y el método del Ejemplo ilustrativo. Los parámetros del conductor que se muestran en las Tablas 8-11 (abajo) se introdujeron en el Software Sag10. El valor para el parámetro de tensión de compresión del Ejemplo profético 1 fue 3,5 MPa (500 psi). Además se generó una curva de flechado en función de la temperatura para un valor de tensión de compresión de 55 MPa (8000 psi). Fig. 9 muestra las curvas de flechado frente a la temperatura del Ejemplo ilustrativo y del Ejemplo Profético 1. Los datos medidos del Ejemplo ilustrativo se muestran como datos trazados 93 en el gráfico y la curva calculada del Ejemplo ilustrativo se muestra como la línea 92. La curva calculada para el Ejemplo profético 1, que utilizó un parámetro de tensión de 3,5 MPa (500 psi), se muestra como la línea 94. La curva adicional calculada con un parámetro de tensión de 55 MPa (8000 psi), se muestra como la línea 96.

Los siguientes datos de los conductores se metieron en el software “SAG10”:

*Tabla 8*

Parámetros del conductor en SAG10

Área	381,6 mm <sup>2</sup> (0,677 pulg. <sup>2</sup> )
Diámetro	2,3 cm (0,902 pulg.)
Peso	1,007 kg/m (0,677 lb/pies)
RTS:	108,31 kN (11.045 kg [24.350 lb])

*Tabla 9*

Condiciones de carga lineal

Longitud de tramo	65,5 m (215 pies)
Tensión inicial (a 72 °F)	20,42 kN (2082 kg [4590 lb])

55

Tabla 10

Opciones para el cálculo del esfuerzo de compresión

Valores de tensión intrínsecos del aluminio

500 (Ejemplo profético 1)  
8000 (curva adicional)

Área de aluminio (como fracción del área total)  
0,8975

Número de capas de aluminio: 2  
Número de hilos de aluminio: 20  
Número de hilos en el núcleo 7

Relaciones de las disposiciones de trenzado  
Capa externa 11  
Capa interna 13

5

Parámetros de tensión-deformación para Sag10; TREF = 22 °C (71 °F)

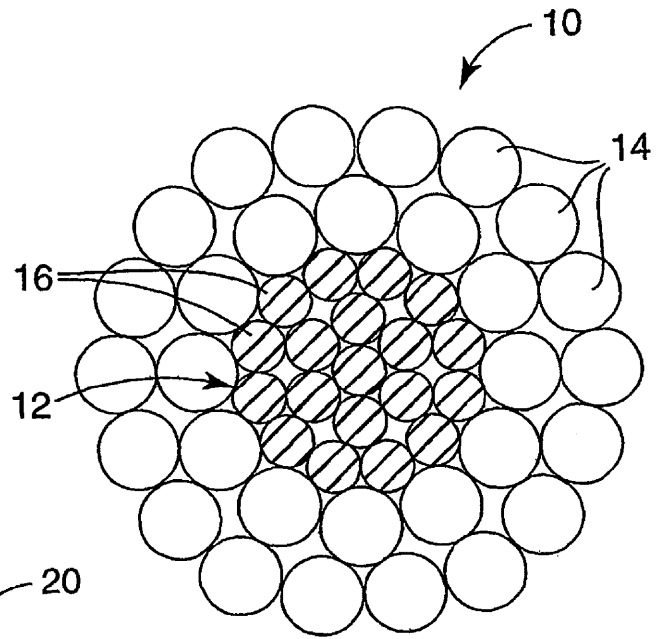
Tabla 11

Aluminio inicial					
A0	A1	A2	A3	A4	AF
17,7	56350,5	-10910,9	-155423	173179,9	79173,1
Aluminio final (10 años de fluencia)					
B0	B1	B2	B3	B4	$\alpha(A1)$
0	27095,1	-3521,1	141800,8	-304875,5	0,00128
Núcleo inicial					
C0	C1	C2	C3	C4	CF
0	23575	0	0	0	23575
Núcleo final (10 años de fluencia)					
D0	D1	D2	D3	D4	$\alpha(\text{núcleo})$
0	23575	0	0	0	0,000033

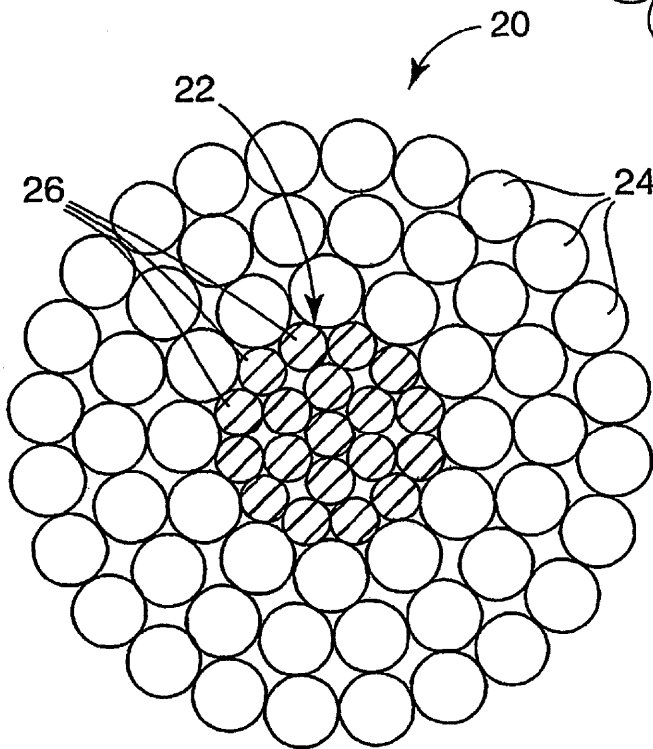
10

**REIVINDICACIONES**

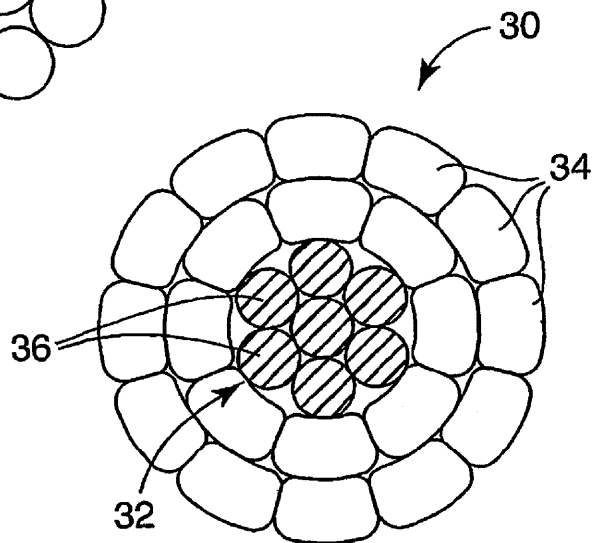
1. Un cable, que comprende:
  - 5 un núcleo longitudinal que tiene un coeficiente de expansión térmica y que comprende al menos uno de aramida, cerámica, boro, poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), grafito, carbono, titanio, tungsteno o aleación con memoria de forma; y
  - 10 una pluralidad de alambres que tiene colectivamente un coeficiente de expansión térmica superior al coeficiente de expansión térmica del núcleo, en donde la pluralidad de alambres comprende al menos uno de alambres de aluminio, alambres de cobre, alambres de aleación de aluminio o alambres de aleación de cobre, y en donde la pluralidad de alambres se trenza alrededor del núcleo, en donde el cable tiene un parámetro de tensión no superior a 5 MPa, con la condición de que si el núcleo longitudinal comprende alambre de material compuesto de matriz metálica, el núcleo comprende por separado al menos uno de aramida, cerámica, boro,
  - 15 poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), grafito, carbono, titanio, tungsteno o una aleación con memoria de forma.
2. El cable según la reivindicación 1, en donde el cable tiene un parámetro de tensión no superior a 3 MPa.
3. El cable según la reivindicación 1, en donde el cable tiene un parámetro de tensión no superior a 1 MPa.
- 20 4. El cable según la reivindicación 1, en donde el cable tiene un parámetro de tensión no superior a 0 MPa.
5. El cable según la reivindicación 1, en donde el cable tiene un parámetro de tensión en un intervalo de 0 MPa a 5 MPa.
- 25 6. El cable según la reivindicación 1, en donde el núcleo comprende material compuesto que comprende fibras continuas de al menos uno del/la aramida, cerámica, boro, poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol), grafito, carbono, titanio, tungsteno o aleación con memoria de forma en una matriz polimérica.
- 30 7. El cable según la reivindicación 1, en donde el núcleo comprende material compuesto que comprende cerámica continua en una matriz polimérica.
8. El cable según la reivindicación 1, en donde los alambres y el núcleo son continuos y al menos 150 metros de largo.
- 35 9. El cable según la reivindicación 1, en donde el en donde el núcleo comprende alambres que tienen un diámetro de 1 mm a 12 mm.
- 40 10. El cable según la reivindicación 1, en donde los alambres del núcleo se trenzan helicoidalmente de manera que presenten un factor de paso de 10 a 150.



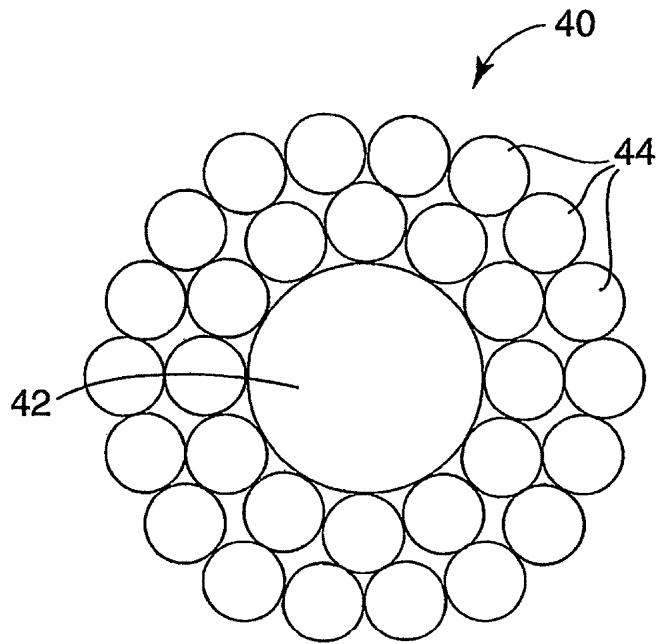
**FIG. 1**



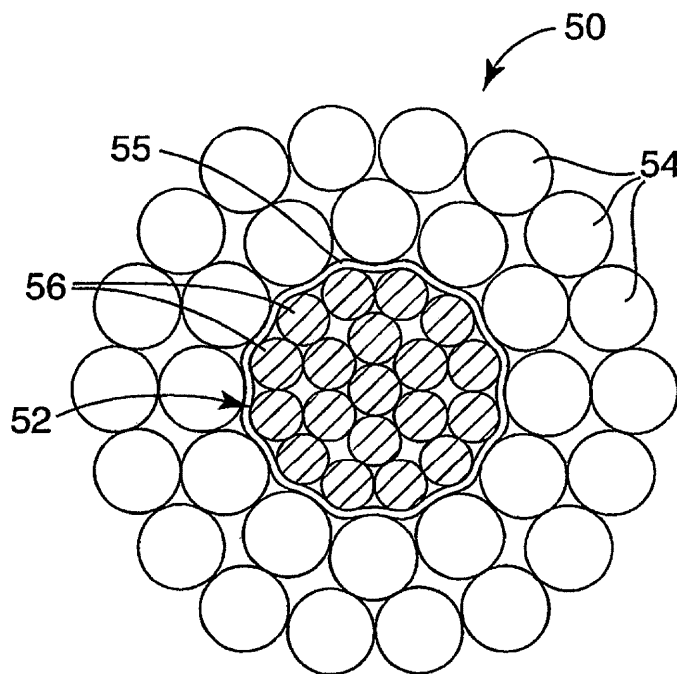
**FIG. 2**



**FIG. 3**

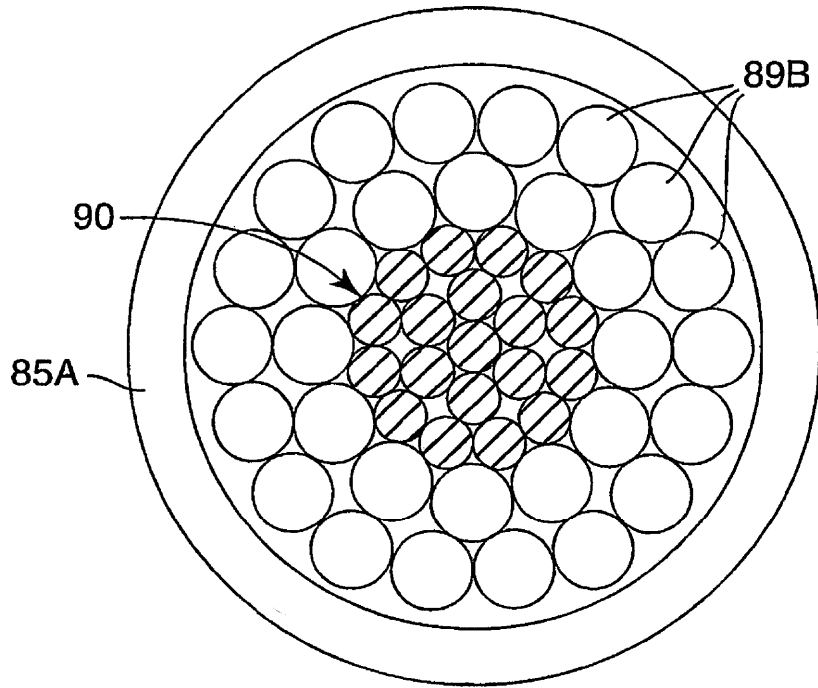


**FIG. 4**

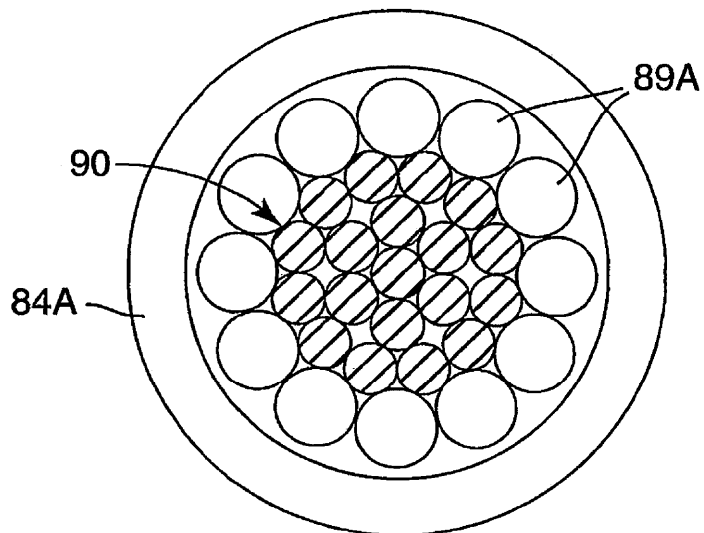


**FIG. 5**



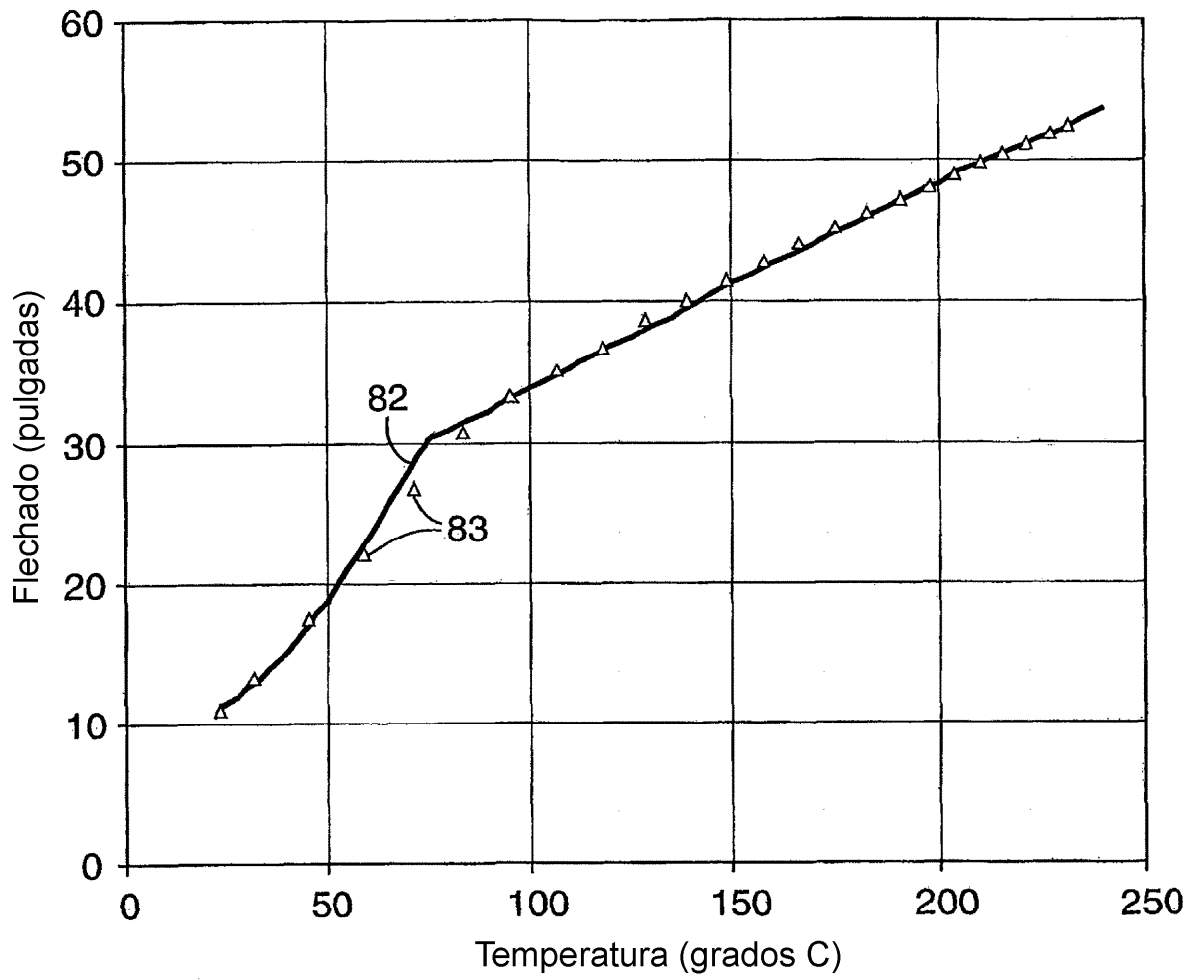


**FIG. 7A**

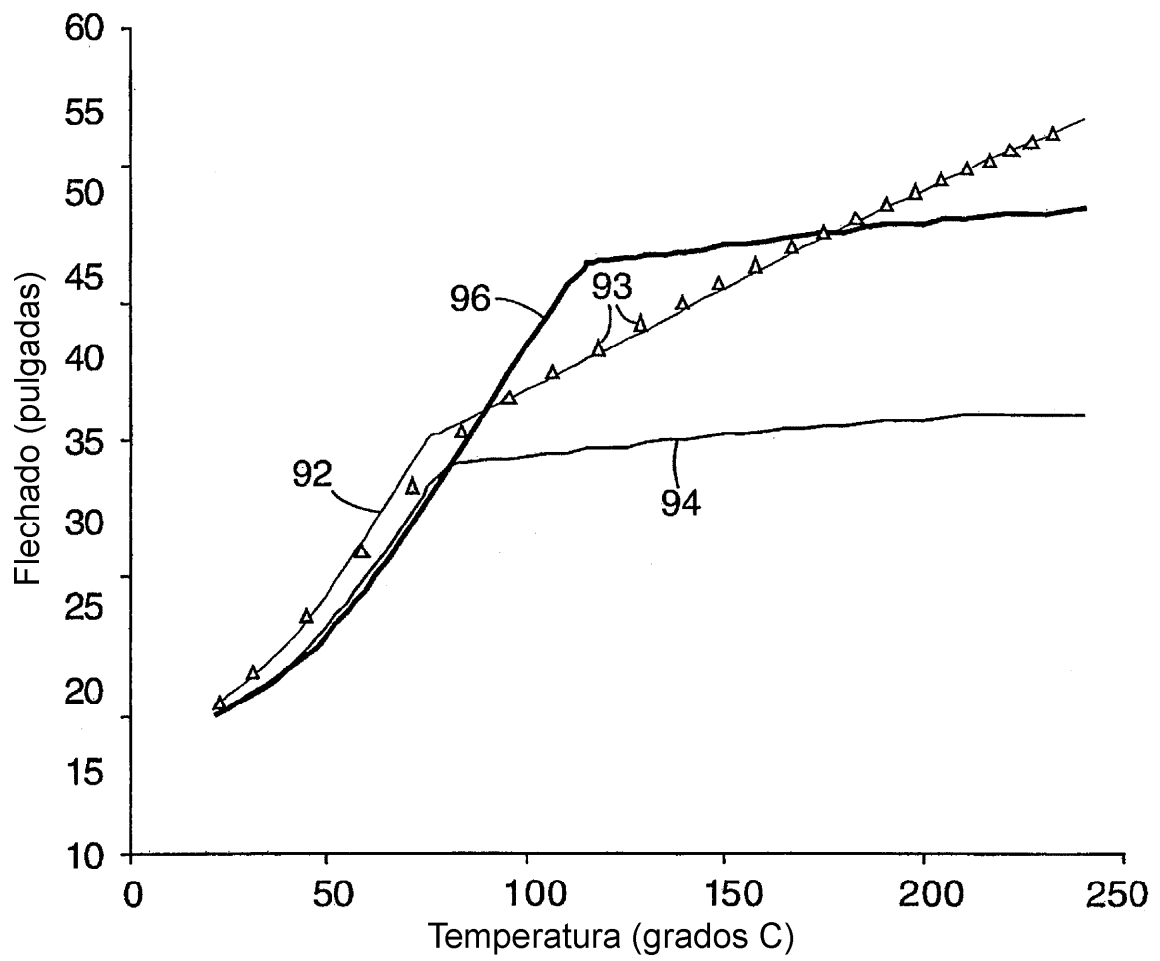


**FIG. 7B**

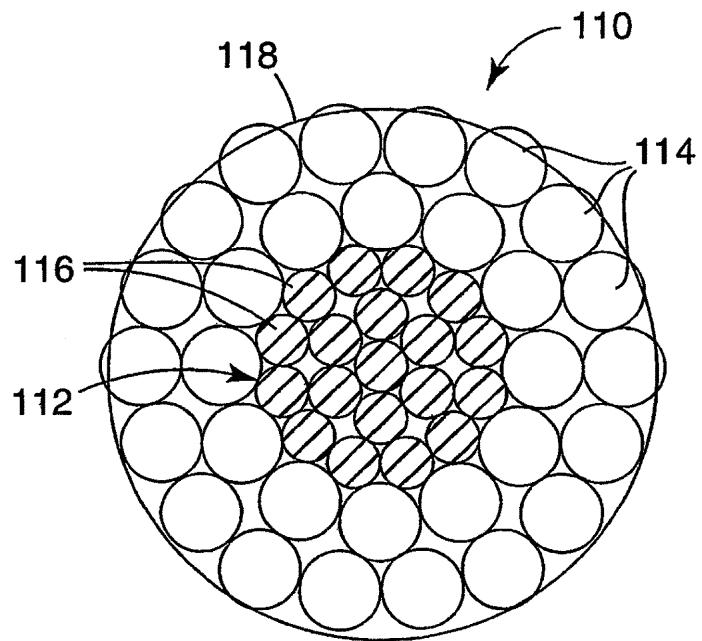




**FIG. 8**



**FIG. 9**



**FIG. 10**