

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 051**

51 Int. Cl.:

**B29D 22/00** (2006.01)

**B32B 15/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.04.2003 PCT/US2003/12520**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.11.2003 WO03091008**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2003 E 03718501 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.12.2016 EP 1506085**

54 Título: **Cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio y método de fabricación**

30 Prioridad:

**23.04.2002 US 374879 P**

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

**15.06.2017**

73 Titular/es:

**CTC GLOBAL CORPORATION (100.0%)  
2026 McGaw Avenue  
Irvine, CA 92614 , US**

72 Inventor/es:

**KORZENIOWSKI, GEORGE y  
HIEL, CLEM**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 617 051 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 reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio y método de fabricación

## 5 Reivindicación de prioridad

En relación con la presente Solicitud Internacional, los solicitantes de la presente invención reivindican la prioridad de la solicitud provisional de EE. UU. anterior con n.º de serie 60/374.879 presentada en la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos el 23 de abril de 2002, la descripción total de la cual se incorpora por referencia en el presente documento.

## Campo técnico

15 La presente invención se refiere a un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio (ACCC, *aluminum conductor composite core*) y método de fabricación. Más particularmente, a un cable para proporcionar energía eléctrica que tiene un núcleo compuesto de resina termoestable de fibra reforzada rodeado por conductor de aluminio capaz de llevar ampacidad aumentada a temperaturas elevadas.

## 20 Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a miembros de núcleo compuesto y productos de cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio (ACCC) hechos de los mismos. La presente invención se refiere además a un proceso de formación para un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio (ACCC). En el cable reforzado de acero conductor de aluminio tradicional (ACSR, *aluminum conductor steel reinforced cable*), el conductor de aluminio transmite la energía y el núcleo de acero se diseña para llevar la carga de transferencia.

En un cable de ACCC, el núcleo de acero del cable de ACSR se sustituye por un núcleo compuesto que comprende al menos un tipo de fibra reforzada en una matriz de resina termoestable. La sustitución del núcleo de acero tiene muchas ventajas. Un cable de ACCC puede mantener temperaturas operativas en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 °C sin flexión correspondiente inducida en cables de ACSR tradicionales. Además, para aumentar la ampacidad, un cable de ACCC acopla un módulo de elasticidad más alto con un coeficiente de dilatación térmica inferior.

35 La presente invención se refiere a un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio adecuado para un funcionamiento a altas temperaturas operativas sin limitarse por las limitaciones operativas actuales inherentes en otros cables para proporcionar energía eléctrica en donde la provisión de energía eléctrica incluye tanto cables de distribución como de transmisión. Los cables de ACSR típicos pueden operarse a temperaturas hasta 100 °C en una base continua sin cambio significativo alguno en las propiedades físicas del conductor relacionadas con una reducción en la resistencia a tracción. Estos límites de temperatura restringen las características térmicas asignadas de una línea típica de 230 kV, extendida con 795 kcmil de conductor "Drake" de ACSR, a aproximadamente 4000 MVA, que corresponde a una corriente de 1000 A.

45 Los cables conductores están restringidos por las características físicas inherentes de los componentes que limitan la ampacidad. Más específicamente, la ampacidad es una medición de la capacidad para enviar energía a través del cable en donde la energía aumentada da lugar a un aumento en la temperatura operativa del conductor. El calor excesivo da lugar a que el cable se flexione por debajo de los niveles permisibles. Por lo tanto, para aumentar la capacidad que lleva la carga de los cables de transmisión, el cable por sí mismo se ha de diseñar utilizando componentes que tienen propiedades inherentes que soportar la ampacidad aumentada sin inducir flexión excesiva.

50 Pese a que las ganancias de ampacidad pueden obtenerse al aumentar el área del conductor que envuelve el núcleo del cable de transmisión, el aumento del peso del conductor aumenta el peso del cable y contribuye a la flexión. Además, el peso aumentado requiere que el cable utilice tensión aumentada en la infraestructura de soporte de cable. Tales aumentos de carga grande típicamente requerirían la sustitución o el refuerzo de la estructura, en donde tales modificaciones de estructura son típicamente no factibles económicamente. De esta manera, existen motivos económicos para aumentar la capacidad de carga en los cables de transmisión eléctrica mientras se utilizan las cargas de transmisión existentes.

60 La Solicitud de Patente Europea con n.º EP116374A3 describe un núcleo compuesto comprendido de un solo tipo de fibra de vidrio reforzada y resina termoplástica. El objeto es proporcionar un cable de transmisión eléctrica que utiliza un núcleo compuesto de plástico reforzado como un elemento que soporta carga en el cable y proporcionar un método para llevar corriente eléctrica a través de un cable de transmisión eléctrica que utiliza un núcleo de plástico reforzado interior. El núcleo compuesto no logra estos objetivos. Un sistema de fibra que comprende fibra de vidrio no tiene la rigidez requerida para atraer la carga de transferencia y mantener al cable alejado de la flexión. Después, un núcleo compuesto que comprende fibra de vidrio y resina termoplástica no satisface las temperaturas operativas requeridas para ampacidad aumentada, principalmente, entre 90 y 230 °C.

El documento EP 1 124 235 divulga un conductor de transmisión eléctrica reforzado compuesto, al que se hace referencia como conductor "CRAC". El conductor CRAC incluye un núcleo interior que está formado por una pluralidad de fibras o filamentos de material de refuerzo, tal como fibra de vidrio, boro, carbono o similar, y que se mantienen unidas por medio de un agente aglutinante tal como una resina termoestable o termoplástica.

5 El documento US 6 329 056 divulga unos hilos compuestos de matriz metálica que incluyen una pluralidad de fibras sustancialmente continuas dispuestas en sentido longitudinal en una matriz metálica. El hilo muestra cero roturas a lo largo de una longitud de al menos 300 metros cuando se prueba de acuerdo con una prueba especificada.

10 El documento WO 02/06549 divulga unos hilos compuestos de matriz metálica que incluyen al menos una estopa que comprende una pluralidad de fibras sustancialmente continuas dispuestas en sentido longitudinal en una matriz metálica. Las fibras se seleccionan de entre el grupo de fibras de cerámica, fibras de carbono, y mezclas de las mismas. Los hilos tienen determinadas características especificadas tales como valores de redondez, valores de uniformidad de redondez y/o valores de uniformidad de diámetro.

15 El documento WO 02/07170 divulga un cable cableado que incluye una pluralidad de hilos de soporte de carga quebradizos y un medio para mantener la disposición cableada de los hilos quebradizos. Los medios de mantenimiento pueden ser una cinta, una cinta adhesiva o un aglutinante aplicado a los hilos cableados.

20 El documento WO 02/06550 divulga un artículo compuesto de matriz de aluminio que comprende una pluralidad de fibras en una matriz que comprende aluminio; en el que las fibras comprenden, de una forma teórica en función de los óxidos,  $Al_2O_3$  en un intervalo de aproximadamente un 35 por ciento en peso a aproximadamente un 75 por ciento en peso,  $SiO_2$  en un intervalo de más de un cero por ciento en peso a menos de aproximadamente un 50 por ciento en peso, y  $B_2O_3$  en un intervalo de más de aproximadamente un 5 por ciento en peso, sobre la base del contenido de óxido de metal total de la fibra respectiva; y en el que además el hilo tiene un coeficiente no lineal de dilatación térmica a lo largo de una temperatura de  $-75\text{ }^\circ\text{C}$  a  $500\text{ }^\circ\text{C}$ , un módulo de no más de aproximadamente 105 GPa, y una resistencia a la tracción promedio de al menos aproximadamente 350 MPa.

30 El documento JP H 6-7112 divulga un núcleo de cable fabricado de la línea de FRP (*Fiber Reinforced Plastic*, Plástico Reforzado con Fibra) que tiene una sección transversal circular, y una capa entrelazada con FRP (4) está dispuesta a lo largo de la periferia exterior del núcleo de cable, en la que la capa entrelazada con FRP se obtiene al entrelazar una pluralidad de filamentos de FRP (4a) se fabrica del mismo material que el núcleo de cable (3) y tiene una sección transversal circular.

35 Chandrasekhar *et al.* (*Journal of Composite Materials*, Vol. 30, n.º 18/1996) es un documento que explora los efectos de la hibridación sobre las propiedades dinámicas de dilatación y de flexión de materiales compuestos extruidos por estirado, en particular vidrio unidireccional, fibras de grafito en una matriz de epoxi e híbridos de vidrio-grafito / epoxi que se producen por medio de un proceso de fabricación de extrusión por estirado.

40 Wallenberger *et al.* (*ASM Handbook, Vol. 21: Composites*) proporciona una descripción de fibras de vidrio, que incluye un análisis de diferentes tipos de fibra de vidrio y sus propiedades mecánicas.

45 Los núcleos compuestos diseñados utilizando un núcleo compuesto de epoxi de carbono también tienen dificultades inherentes. El núcleo de epoxi de carbono tiene flexibilidad muy limitada y su coste es prohibitivo. El producto de cable que tiene un núcleo de epoxi de carbono no tiene suficiente flexibilidad para permitir el devanado y transporte. Además, el coste de las fibras de carbono es costoso en comparación con otras fibras disponibles. El coste de las fibras de carbono está en el intervalo de 5 \$ a 37 \$ por libra en comparación con las fibras de vidrio en el intervalo de 0,36 \$ a 1,20 \$ por libra. De acuerdo con lo anterior, un núcleo compuesto construido solo de fibras de carbono no es factible económicamente.

50 Las propiedades físicas de los núcleos compuestos están limitadas además por los métodos de procesamiento. Los métodos de procesamiento previos no pueden lograr una alta proporción de fibra / resina en volumen o peso. Estos procesos no permiten la creación de un núcleo rico en fibra que logrará una resistencia para competir con un núcleo de acero. Además, la velocidad de procesamiento de métodos de procesamiento previos está limitada por características inherentes del proceso en sí. Por ejemplo, las boquillas tradicionales de extrusión por estirado son de aproximadamente 91,44 centímetros, que tienen una sección transversal constante. El resultado es fricción aumentada entre el compuesto y el tiempo de procesamiento de disminución de la boquilla. Los tiempos de procesamiento en tales sistemas para resinas de epoxi varían dentro de aproximadamente 15,24 centímetros / minuto a aproximadamente 30,48 centímetros / minuto, que no es económicamente factible. Además, estos procesos no permiten la configuración compuesta y sintonización durante el proceso, en donde la sintonización comprende el cambio de proporción de fibra / resina.

60 Por lo tanto, es deseable diseñar cables de ACCC económicamente factibles que tienen al menos un tipo de fibra reforzada en una matriz de resina termoestable que comprende características físicas inherentes que facilitan la ampacidad aumentada sin flexión correspondiente del cable. Es además deseable procesar los núcleos compuestos utilizando un proceso que permite la configuración y sintonización de los núcleos compuestos durante el

procesamiento y permite la configuración y sintonización de los núcleos compuestos durante el procesamiento y permite el procesamiento a velocidades en el intervalo de aproximadamente 2,7 m/min a 15,20 m/min.

#### Sumario de la invención

- 5 La ampacidad aumentada puede lograrse al utilizar un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio (ACCC, *aluminum conductor composite core*). Un cable reforzado de ACCC es un conductor de baja flexión, alta temperatura, que puede operarse a temperaturas por encima de 100 °C mientras muestra propiedades de alargamiento por desviación y resistencia a la tracción estables. Además es deseable lograr límites de temperatura prácticos de hasta 230 °C. Utilizando un cable reforzado de ACCC, que tiene el mismo diámetro que el original, a 180 °C también aumenta las características asignadas de línea en un 50 % sin cambio significativo alguno en las cargas de estructura. Si el conductor de sustitución tiene una velocidad de alargamiento térmico inferior a la del original, entonces las estructuras de soporte no tendrán que elevarse o reforzarse.
- 10
- 15 En particular, la sustitución del núcleo de los cables conductores de transmisión y distribución con un miembro de refuerzo compuesto que comprende fibra y resina con un módulo de elasticidad relativamente alto y un coeficiente de dilatación térmica relativamente bajo facilita una ampacidad del cable conductor aumentada. Además es deseable diseñar núcleos compuestos que tienen duración a largo plazo permitiendo al miembro de refuerzo compuesto operar al menos seis años, y más preferiblemente siete años a las temperaturas asociadas con la ampacidad aumentada, aproximadamente 90 a 230 °C, sin tener que aumentar ya sea el diámetro del núcleo compuesto, o el diámetro exterior del conductor. Esto a su vez permite más espacio físico para poner más aluminio y para que el desempeño físico y mecánico sea capaz de satisfacer los límites de flexión sin aumentar el peso del conductor.
- 20
- 25 Además, la invención permite la formación de un núcleo compuesto que tiene un tamaño de núcleo más pequeño. Un tamaño de núcleo más pequeño permite al cable conductor dar cabida a un volumen aumentado de aluminio en donde un cable de ACCC tiene las mismas características de peso y resistencia como un cable conductor sin un núcleo compuesto.
- 30 Para lograr las ganancias de ampacidad deseadas, un núcleo compuesto de acuerdo con la invención también puede combinar fibras que tienen un módulo de elasticidad bajo con fibras que tienen un módulo de elasticidad alto para una rigidez aumentada del núcleo y un por ciento de alargamiento inferior. Al combinar las fibras, se obtiene un nuevo conjunto de propiedades que incluye diferentes módulos de elasticidad, dilatación térmica, densidad y coste. Los cálculos de flexión frente a temperatura muestran unas ganancias de ampacidad que se pueden lograr cuando un compuesto avanzado se combina con fibras reforzadas de módulo bajo que tienen propiedades físicas inherentes dentro del mismo intervalo que la fibra de vidrio.
- 35
- Los núcleos compuestos de acuerdo con la invención satisfacen ciertas características físicas dependientes de la selección de tipos de fibra reforzada y las resinas termoestables con propiedades físicas inherentes deseadas. Los núcleos compuestos de acuerdo con la invención tienen coeficientes de dilatación térmica substancialmente bajos, resistencia a la tracción substancialmente alta, capacidad para soportar un intervalo substancialmente alto de temperaturas operativas, capacidad para soportar un intervalo bajo de temperaturas ambiente, propiedades dieléctricas substancialmente altas y suficiente flexibilidad para permitir el devanado. En particular, los núcleos compuestos de acuerdo con la presente invención tienen una resistencia a la tracción dentro del intervalo de aproximadamente 160 a 240 Ksi, un módulo de elasticidad dentro del intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi, una temperatura operativa dentro del intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 °C y un coeficiente de dilatación térmica dentro del intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C. Estos intervalos pueden lograrse por un solo tipo de fibra reforzada o una combinación de tipos de fibra reforzada. Teóricamente, pese a que las características podrían lograrse por un solo tipo de fibra, desde un punto de vista práctico, la mayoría de los núcleos dentro del alcance de la presente invención comprenden dos o más tipos de fibra reforzada distintos. Además, dependiendo de las características físicas deseadas en el núcleo compuesto final, el núcleo compuesto da cabida a las variaciones en las cantidades relativas de fibras.
- 40
- 45
- 50
- 55 Los núcleos compuestos de la presente invención pueden formarse por un proceso de formación de etapa B en donde las fibras se humectan con resina y continuamente se halan a través de una pluralidad de zonas dentro del proceso. El proceso de formación de etapa B se refiere, en general, a la fabricación de miembros de núcleo compuesto y se refiere específicamente a un aparato mejorado y proceso para hacer miembros de núcleo compuesto de fibra impregnada con resina. Más específicamente, de acuerdo con una realización preferida, un proceso de etapa B de múltiples fases forma un miembro de núcleo compuesto de fibra y resina con resistencia superior, ampacidad más alta, resistencia eléctrica inferior y peso más ligero que los miembros de núcleo previos. El proceso permite la formación de miembros de núcleo compuesto que tienen una proporción de fibra a resina que aumenta al máximo la resistencia del compuesto, específicamente de flexión, compresivo y con resistencia a la tracción. En una realización adicional, el miembro de núcleo compuesto se envuelve con aluminio de alta conductividad que da como resultado un cable de ACCC que tiene características de alta rigidez y alta resistencia.
- 60
- 65

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características de la invención se entienden mejor al referirse a la descripción detallada de la invención, leída en vista de los dibujos adjuntos, en los cuales:

- 5 La figura 1 es un diagrama esquemático de un proceso de formación de etapa B utilizado para formar miembros de núcleo compuesto de fibra reforzada de acuerdo con la presente invención.
- La figura 2 es un diagrama esquemático de un casquillo que muestra pasajes lo suficientemente separados para la inserción de las fibras en un patrón previamente determinado para guiar las fibras a través del proceso de formación de etapa B de acuerdo con la presente invención.
- 10 La figura 3 es una vista esquemática de la estructura de un casquillo, mostrando dicha vista los pasajes utilizados para formar y comprimir los manojos de fibras reforzadas de acuerdo con la presente invención.
- La figura 4 es una comparación esquemática de dos casquillos diferentes que muestran una reducción en los pasajes de un casquillo al siguiente para formar y compactar las fibras en los manojos para formar el núcleo compuesto de acuerdo con la presente invención.
- 15 La figura 5 muestra una vista en sección transversal de treinta posibles geometrías de sección transversal de núcleo compuesto de acuerdo con la invención.
- La figura 6 es una vista en sección transversal multi-dimensional de una pluralidad de casquillos superpuestos uno sobre otro que muestra la reducción en tamaño del pasaje con casquillos respectivos.
- 20 La figura 7 es una vista esquemática multi-fase de una pluralidad de casquillos que muestra la migración de los pasajes y la disminución del tamaño de los pasajes con cada casquillo sucesivo de acuerdo con la invención.
- La figura 8 es una vista en sección transversal de una realización de un núcleo compuesto de acuerdo con la invención.
- 25 La figura 9 es una vista esquemática de un proceso de horno que tiene flujo de aire circular transversal para mantener la temperatura del aire constante de acuerdo con la invención.
- La figura 10 es una vista en sección transversal del elemento de calentamiento en el horno representado en la figura 9 que muestra cada calentador en el elemento de calentamiento de acuerdo con la invención.
- 30 La figura 11 es una vista esquemática de una realización de un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio (ACCC, *aluminum conductor composite core*) que muestra un núcleo compuesto avanzado interior y un núcleo de módulo bajo exterior rodeado por dos capas de conductor de aluminio de acuerdo con la invención.

Descripción detallada de la invención

35 La presente invención se describirá en lo sucesivo en el presente documento de manera más completa a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales las realizaciones preferidas de la invención se muestran. La presente invención puede, no obstante, incluirse en muchas formas diferentes y no se ha de interpretar como limitada a las realizaciones establecidas en la misma; en su lugar, estas realizaciones se proporcionan de manera que la descripción transmitirá completamente el alcance de la invención a los expertos en la materia. Los números similares se refieren a elementos similares. Los dibujos no están necesariamente dibujados a escala, sino que se han configurado para ilustrar claramente la invención.

45 La presente invención se refiere a un miembro de núcleo compuesto reforzado hecho de fibras reforzadas incrustadas en una resina de alta temperatura para utilizarse en los cables reforzados de núcleo compuesto de conductor de aluminio (ACCC, *aluminum conductor composite core*) para proporcionar distribución de energía eléctrica en donde la distribución de energía eléctrica incluye cables de transmisión y distribución. La figura 11 ilustra una realización típica de un cable reforzado de ACCC 300. La figura 11 ilustra un cable reforzado de ACCC que tiene un núcleo interior compuesto de fibra de carbono / resina de epoxi 302 y un núcleo exterior compuesto de fibra de vidrio reforzada / resina de epoxi 304, rodeado por una primera capa de conductor de aluminio 306 en donde una pluralidad de filamentos de aluminio de forma trapezoidal se envuelven en torno al núcleo compuesto y que tiene una segunda capa de conductor de aluminio 308 en donde una pluralidad de filamentos de aluminio de forma trapezoidal se envuelven en torno a la primera capa de aluminio 306.

55 Los núcleos compuestos de la presente invención comprenden las siguientes características: al menos un tipo de fibra reforzada, cantidades relativas variables de cada tipo de fibra reforzada, tipos de fibra reforzada de diámetro substancialmente pequeño, tipos de fibra reforzada de una longitud substancialmente continua, núcleos compuestos que tienen una alta densidad de empaque, estopas de fibra reforzada que tienen espacio relativo dentro de la densidad de empaque, una fracción de volumen al menos del 50 %, una fracción de peso de fibra entre aproximadamente un 60 y aproximadamente un 75 %, fracción de volumen ajustable, coeficiente de dilatación térmica substancialmente bajo, una resistencia a la tracción substancialmente alta, capacidad para soportar un intervalo substancialmente alto de temperaturas operativas, capacidad para soportar temperatura ambiente substancialmente baja, teniendo el potencial de ajustar las propiedades de la resina de núcleo compuesto, propiedades dieléctricas substancialmente altas, teniendo el potencial de una pluralidad de configuraciones de sección transversal geométricas, y suficiente flexibilidad para permitir el devanado de longitudes continuas de núcleo compuesto.

- Un núcleo compuesto de la siguiente invención tiene una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi, un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi, una temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 °C y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C. Para lograr estas características físicas, los núcleos compuestos de la presente invención pueden comprender un tipo de fibra reforzada que tiene propiedades físicas inherentes para permitir que el núcleo compuesto satisfaga las especificaciones físicas requeridas. Desde un punto de vista práctico, la mayoría de los cables dentro del alcance de la invención comprenden al menos dos tipos distintos de fibra reforzada.
- La combinación de dos o más fibras reforzadas en el miembro de núcleo compuesto ofrece mejoras substanciales en la proporción de resistencia a peso sobre materiales comúnmente utilizados para cable en un sistema de transmisión de energía eléctrica. Las fibras pueden seleccionarse del grupo que comprende, por ejemplo: fibras de carbono - tanto de alto módulo como de alta resistencia (a base de brea), fibras de Kevlar, fibras de basalto, fibras de vidrio, fibras de Aramida, fibras de boro, fibras de cristal líquido, fibras de polietileno de alto desempeño y nanofibras de carbono. Varios tipos de fibras de carbono, boro, Kevlar y vidrio se encuentran comercialmente disponibles. Cada tipo de fibra tiene subtipos de características variables que pueden combinarse en varias combinaciones con objeto de lograr un compuesto particular. Se ha de observar que estos son solo ejemplos de fibras que satisfacen las características especificadas de la invención, de manera que la invención no está limitada solo a estas fibras. Pueden utilizarse otras fibras que satisfacen las características físicas requeridas de la invención.
- Los núcleos compuestos de la presente invención preferiblemente comprenden estopas de fibra que tienen un rendimiento o número K relativamente pequeño. Una estopa de fibra es un manojo no retorcido de microfibras continuas en donde la composición de la estopa se indica por su rendimiento o número K. Por ejemplo, la estopa 12K tiene 12.000 microfibras individuales. Idealmente, las microfibras se humectan con resina de manera que la resina cubre la circunferencia de cada microfibra dentro del manojo o estopa. La humectación puede afectarse por el tamaño de la estopa, es decir, el número de microfibras en el manojo, y tamaño de microfibra individual. Las estopas más grandes crean más dificultad de humectación en torno a las fibras individuales en el manojo debido al número de fibras contenidas dentro del manojo mientras que el diámetro de fibra más pequeño aumenta la distribución de resina en torno a cada fibra dentro de cada estopa de fibra. La humectación e infiltración de las estopas de fibra en materiales compuestos es de importancia crítica para el desempeño del compuesto resultante. La humectación incompleta da como resultado grietas o manchas secas dentro del compuesto de fibra que reduce la resistencia y durabilidad del producto compuesto. Las estopas de fibra también pueden seleccionarse de acuerdo con el tamaño de la estopa de fibra que el proceso puede manejar con objeto de permitir la formación de un compuesto que tiene características físicas deseadas, óptimas. Un proceso para formar núcleos compuestos de acuerdo con la presente invención se llama proceso de formación de etapa B. Las estopas de fibra de la presente invención para carbono se seleccionan preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 4K a aproximadamente 50K y las estopas de fibra de vidrio se seleccionan preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 800 a aproximadamente 1200 de rendimiento.
- Los tamaños de fibra reforzada individual de acuerdo con la presente invención preferiblemente se encuentran dentro del intervalo de aproximadamente 8 a aproximadamente 15  $\mu\text{m}$  para fibras de vidrio y más preferiblemente de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  de diámetro, mientras que las fibras de carbono están preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 5 a aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  y más preferiblemente de aproximadamente 7  $\mu\text{m}$  de diámetro. Para otros tipos de fibras un intervalo de tamaño adecuado se determina de acuerdo con las propiedades físicas deseadas. Los intervalos se seleccionan en base a las características de humectación óptimas y viabilidad. Por ejemplo, las fibras menores que aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  son de un diámetro tan pequeño que poseen ciertos riesgos de salud para quienes manejan las fibras. Por otro lado, las fibras de un diámetro cercano a 25  $\mu\text{m}$  son difíciles de trabajar debido a que son más rígidas y más quebradizas.
- Los núcleos compuestos de la presente invención comprenden estopas de fibra que son de una longitud substancialmente continua. En la práctica, las estopas de fibra de carbono que comprenden la presente invención tienen una longitud de preferiblemente entre aproximadamente 1000 y 3000 metros, dependiendo del tamaño de la bobina. No obstante, las longitudes de la fibra de vidrio pueden variar hasta 36 km dependiendo del tamaño de la bobina. Más preferiblemente, las fibras se seleccionan en el intervalo de 1000 a 33.000 metros. Es más preferible seleccionar las fibras más largas a las que dará cabida el equipo de procesamiento debido al menor empalme de las fibras para formar un núcleo compuesto continuo de más de 1824 metros. Los extremos de fibra pueden pegarse extremo con extremo, formando una estopa de fibra de longitud substancialmente continua. La estopa continua orienta las fibras en sentido longitudinal a lo largo del cable.
- Los núcleos compuestos de la presente invención comprenden fibras que tienen una alta eficiencia de empaque relativa a otros núcleos de cable conductor. En particular, los cables conductores de acero tradicionales comprenden, en general, varios hilos de acero redondos. Debido a la forma redonda de los hilos, los hilos no pueden empacarse herméticamente y solo pueden lograr una eficiencia de empaque de aproximadamente un 74 %. La única manera de que un núcleo de acero podría tener 100 % de eficiencia de empaque sería tener una varilla de acero sólida como opuesta a varios hilos de acero redondos. Esto no es posible debido a que el cable final sería rígido y no se doblaría. En la presente invención, las fibras individuales se orientan en sentido longitudinal, en donde cada

fibra se reviste con resina y se cura formando un miembro de núcleo compuesto hibridado que tiene 100 % de eficiencia de empaque. La eficiencia de empaque más alta produce una resistencia de compuesto que es mayor que un volumen dado relativo a otros cables. Además, la eficiencia de empaque más alta permite la formación de un núcleo compuesto de diámetro más pequeño, aumentando de este modo la cantidad de material conductor de aluminio capaz de envolverse en torno al núcleo conductor compuesto.

Los núcleos compuestos de la presente invención comprenden fibras reforzadas que son substancialmente resistentes a calor. La resistencia a calor permite que un cable de ACCC transmita energía aumentada debido a la capacidad del compuesto a soportar temperaturas operativas más altas. Las fibras utilizada en la presente invención tienen la capacidad para soportar temperaturas operativas entre el intervalo de aproximadamente 90 y aproximadamente 230 °C, Más preferiblemente, las fibras en la presente invención tienen la capacidad para soportar temperaturas operativas entre el intervalo de aproximadamente 170 a 200 °C. Además, las fibras utilizadas en la presente invención pueden soportar preferiblemente un intervalo de temperatura ambiente entre aproximadamente -40 a aproximadamente 90 °C. Es decir, bajo condiciones ambientales sin corriente fluyendo en un cable de ACCC, el núcleo compuesto es capaz de soportar temperaturas tan bajas como aproximadamente -40 °C sin sufrir el deterioro de las características físicas.

Las cantidades relativas de cada tipo de fibra reforzada varía dependiendo de las características físicas deseadas del cable compuesto. Por ejemplo, las fibras que tienen un módulo de elasticidad bajo permiten la formación de un núcleo compuesto rígido, de alta resistencia. Las fibras de carbono tienen un módulo de elasticidad preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 22 a aproximadamente 37 Msi mientras que las fibras de vidrio se consideran fibras reforzadas de módulo bajo que tienen un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente 7 Msi. Los dos tipos de fibras pueden combinarse para tomar ventaja de las propiedades físicas inherentes de cada fibra par crear un núcleo compuesto de alta inflexión, alta resistencia con flexibilidad añadida. En una realización, por ejemplo, el núcleo compuesto comprende un núcleo de carbono / resina interior que tiene un área de 0,238 cm<sup>2</sup> y una proporción de resina de fibra de aproximadamente 70/30 en peso y una capa exterior de vidrio / epoxi que tiene un área de 0,0477 cm<sup>2</sup>, y una proporción de fibra / resina de aproximadamente 75/25 en peso.

De acuerdo con la presente invención, las características físicas del núcleo compuesto pueden ajustarse al ajustar la proporción de fibra / resina de cada componente. Como alternativa, las características físicas del núcleo compuesto pueden ajustarse al ajustar el porcentaje de área de cada componente dentro del miembro de núcleo compuesto. Por ejemplo, al reducir el área total de carbono de 0,238 cm<sup>2</sup>, e aumentar el área del vidrio de 0,0477 cm<sup>2</sup>, el producto de miembro de núcleo compuesto tiene una rigidez reducida en el núcleo de carbono acoplado con flexibilidad aumentada. Además, debido al diámetro más pequeño de estopa de vidrio en comparación con carbono, el núcleo compuesto resultante es de un diámetro más pequeño que permite al conductor aumentado el mismo tamaño de cable resultante. Como alternativa, una tercera fibra, por ejemplo basalto, puede introducirse en el núcleo compuesto. La fibra adicional cambia las características físicas del producto final. Por ejemplo, al substituir basalto por algunas fibras de carbono, el núcleo tiene propiedades dieléctricas aumentadas y una reducción relativa en cuanto a la rigidez del núcleo.

Los núcleos compuestos de la presente invención comprenden fibras reforzadas que tienen resistencia a la tracción relativamente alta. El grado de flexión en un cable de transmisión de energía de voltaje superior varía como el cuadrado de la longitud de dilatación e inversamente con la resistencia a la tracción del cable de manera que un aumento en la resistencia a la tracción reduce efectivamente la flexión en un cable de ACCC. Las fibras de carbono se seleccionan teniendo una resistencia a la tracción preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 350 a aproximadamente 750 Ksi. Más preferiblemente en el intervalo entre 710 Ksi a 750 Ksi. Las fibras de vidrio se seleccionan teniendo una resistencia a la tracción preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 180 a aproximadamente 220 Ksi. La resistencia a la tracción del compuesto se aumenta al combinar las fibras de vidrio que tienen una resistencia a la tracción inferior con fibras de carbono que tienen una resistencia a la tracción más alta. Las propiedades de ambos tipos de fibras se combinan para formar un nuevo cable que tiene un conjunto más deseable de características físicas.

Los núcleos compuestos de la presente invención comprenden fibras longitudinales incluidas dentro de una matriz de resina que tiene una fracción de volumen de fibra / resina en una proporción de al menos 50:50 %. La fracción de volumen es el área de fibra dividida por el área total de la sección transversal en donde el peso de la fibra determinará la proporción de porcentaje final en peso. De acuerdo con la invención, preferiblemente la fracción de volumen de fibra en el compuesto de fibra / resina se encuentra dentro del intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 % en valor. Más preferiblemente, la fracción de volumen se calcula para producir una proporción de fibra / resina de 72 % en peso dependiendo del peso de la fibra.

De acuerdo con la presente invención, el núcleo compuesto se diseña en base a las características físicas deseadas de un cable reforzado de ACCC. Más preferiblemente, el núcleo compuesto se diseña teniendo un miembro de núcleo de refuerzo interior que comprende un compuesto avanzado rodeado por una capa más flexible exterior. Un compuesto avanzado es un compuesto que tiene fibras continuas que tienen una fracción de volumen mayor que un 50 % y propiedades mecánicas que superan las propiedades mecánicas de fibras de vidrio. Además, es preferible

tener un compuesto de módulo bajo de capa exterior que tiene propiedades mecánicas en el intervalo de fibra de vidrio. Una fibra de módulo bajo tiene características físicas en el intervalo de fibra de vidrio. Las propiedades mecánicas de fibras de vidrio dan cabida al empalme mientras que el compuesto avanzado es más quebradizo y no toma bien el empalme.

5 Las fibras que forman un compuesto avanzado se seleccionan preferiblemente teniendo una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 350 a aproximadamente 750 Ksi; un módulo de elasticidad preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 22 a aproximadamente 37 Msi; un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente  $-0,7$  a aproximadamente  $0$  m/m/C; por ciento de alargamiento de rendimiento en el intervalo de aproximadamente un 1,5 a un 3 %; propiedades dieléctricas en el intervalo de aproximadamente  $0,31$  W/m·K a aproximadamente  $0,04$  W/m·K; y densidad en el intervalo de aproximadamente  $0,065$  l/p<sup>3</sup> a aproximadamente  $0,13$  l/p<sup>3</sup>.

15 Las fibras que forman la capa de módulo bajo exterior que rodea el compuesto avanzado preferiblemente tienen una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 180 a 220 Ksi; un módulo de elasticidad preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 6 a 7 Msi; un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente  $5 \times 10^{-6}$  a aproximadamente  $10 \times 10^{-6}$  m/m/C; por ciento de alargamiento de rendimiento en el intervalo de aproximadamente un 3 a aproximadamente un 6 %; y propiedades dieléctricas en el intervalo de aproximadamente  $0,034$  a aproximadamente  $0,04$  W/m·K; y densidad en el intervalo de aproximadamente  $0,065$  a aproximadamente  $0,13$  l/p<sup>3</sup>.

25 Un miembro de núcleo compuesto que tiene un núcleo interior que comprende un compuesto avanzado de acuerdo con los intervalos preferidos de los valores establecidos en lo que antecede rodeado por una capa de módulo bajo exterior de acuerdo con los intervalos preferidos de los valores establecidos en lo que antecede, tiene una ampacidad aumentada sobre los otros cables conductores en de aproximadamente un 0 a aproximadamente un 200 %. En particular, el núcleo compuesto final tiene las siguientes características físicas. La resistencia a la tracción en el intervalo dentro de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi. Más preferiblemente, teniendo resistencia a la tracción de aproximadamente 185 Ksi. El módulo de elasticidad preferiblemente en el intervalo de dentro aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi. Más preferiblemente, teniendo un módulo de elasticidad de aproximadamente 14 Msi. La temperatura operativa en el intervalo dentro de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 °C. Más preferiblemente, el núcleo compuesto es capaz de soportar las temperaturas operativas al menos aproximadamente 190 °C. El coeficiente de dilatación térmica dentro del intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C. Más preferiblemente, el coeficiente de dilatación térmica es aproximadamente  $2,5 \times 10^{-6}$  m/m/C.

35 Preferiblemente, las combinaciones particulares de fibras reforzadas se seleccionan a base de las propiedades físicas inherentes de la fibra reforzada con objeto de producir un producto de núcleo compuesto que tiene propiedades físicas particulares. En particular, para diseñar un cable de ACCC capaz de soportar ganancias de ampacidad, el núcleo compuesto comprende tanto un módulo de elasticidad más alto como un coeficiente de dilatación térmica inferior. Las fibras preferiblemente no son conductivas pero tienen altas propiedades dieléctricas. Un cable de ACCC opera a temperaturas operativas más altas sin un aumento correspondiente en flexión. Los cálculos de flexión frente a temperatura requieren la entrada de módulo de elasticidad, coeficiente de dilatación térmico, peso del miembro de refuerzo compuesto y peso del conductor. De acuerdo con lo anterior, estas características típicas se toman en cuenta para diseñar el núcleo compuesto.

45 Pese a que es preferible formar un núcleo compuesto que tiene un compuesto avanzado interior rodeado por un compuesto de módulo bajo, es factible hacer un núcleo compuesto que comprende módulo alto separado de fibras de elasticidad y módulo bajo de fibras de elasticidad. Dependiendo de la proporción de deformación : rotura, este tipo de núcleo puede tener que segmentarse con objeto de lograr un devanado del conductor apropiado en la rueda de transporte. Además, el núcleo compuesto se diseña teniendo la fibra de módulo de elasticidad aumentado en el núcleo interior rodeado por una fibra que tiene un módulo de elasticidad más bajo debido al grado reducido de deformación en el núcleo interior.

55 Por ejemplo, el carbono se selecciona para módulo de elasticidad alto en el intervalo de aproximadamente 22 a aproximadamente 37 Msi, el coeficiente de dilatación térmica bajo en el intervalo de aproximadamente  $-0,7$  a aproximadamente  $0$  m/m/C, y por ciento de alargamiento en el intervalo de aproximadamente un 1,5 a aproximadamente un 3 %. Las fibras de vidrio se seleccionan para módulo de elasticidad bajo en el intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente Msi, coeficiente de dilatación térmica bajo en el intervalo de aproximadamente  $5 \times 10^{-6}$  a aproximadamente  $10 \times 10^{-6}$  m/m/C y por ciento de alargamiento en el intervalo de aproximadamente un 3 a aproximadamente un 6 %. La capacidad de deformación del compuesto se ata con las propiedades físicas inherentes de los componentes y la fracción de volumen de los componentes. Después de que se sella el compuesto de fibra / resina, la proporción de deformación con respecto a rotura de cada compuesto de fibra / resina se determina. De acuerdo con la presente invención, las resinas pueden ajustarse para lograr ciertas propiedades para su procesamiento y para lograr las propiedades físicas deseadas en el producto final. En ese sentido, la proporción de deformación con respecto a rotura de resina ajustada / fibra se determina. Por ejemplo, carbono / epoxi tiene una proporción de deformación con respecto a rotura de un 2,1 % mientras que la fibra de

vidrio / epoxi tiene una proporción de deformación con respecto a rotura de un 1,7 %. De acuerdo con lo anterior, el núcleo compuesto se diseña teniendo la rigidez del carbono / epoxi en el núcleo interior y la fibra de vidrio / epoxi más flexible en el núcleo exterior para crear un núcleo compuesto con la flexibilidad requerida y un coeficiente de dilatación térmica bajo.

5 Como alternativa, otro compuesto avanzado que tiene propiedades mecánicas en exceso de fibra de vidrio podría substituirse por al menos una porción de las fibras de carbono y otra fibra que tiene el intervalo de propiedad mecánica de fibra de vidrio podría substituirse para fibra de vidrio. Por ejemplo, basalto tiene las siguientes propiedades: alta resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 701,98 Ksi (en comparación con el intervalo de aproximadamente 180 a aproximadamente 500 Ksi para fibras de vidrio), módulo de elasticidad alto en el intervalo de aproximadamente 12,95 Msi, coeficiente de dilatación térmica bajo en el intervalo de aproximadamente 8,0 ppm/C (en comparación con aproximadamente 5,4 ppm/C para fibras de vidrio), y por ciento de alargamiento en el intervalo de aproximadamente un 3,15 % (en comparación con el intervalo de aproximadamente un 3 a aproximadamente un 6 % de fibras de vidrio). Las fibras de basalto proporcionan resistencia a la tracción aumentada, un módulo de elasticidad entre carbono y fibra de vidrio y un % de alargamiento próximo al de las fibras de carbono. Una ventaja adicional es que el basalto tiene propiedades dieléctricas superiores a carbono. Preferiblemente, el núcleo compuesto comprende un miembro de refuerzo a la tracción que no es conductivo. Al diseñar un núcleo compuesto avanzado que tiene fibras de características físicas inherentes rodeado por núcleo exterior de fibra de módulo bajo, se obtiene un nuevo conjunto de propiedades del núcleo compuesto.

La flexión frente a temperatura se determina al considerar el módulo de elasticidad, el coeficiente de dilatación térmica, el peso del miembro de refuerzo compuesto, y el peso del conductor. El módulo de elasticidad más alto y coeficiente de dilatación térmica inferior en el núcleo compuesto resultante permite a un cable de ACCC soportar ganancias de ampacidad y temperaturas operativas entre aproximadamente 90 y aproximadamente 230 °C.

El núcleo compuesto de la presente invención comprende resinas termoestables que tienen propiedades físicas que son ajustables para lograr los objetos de la presente invención. Dependiendo de la aplicación del cable propuesto, las resinas termoestables adecuadas se seleccionan como una función de las propiedades de cabe deseadas para permitir al núcleo compuesto tener durabilidad a largo plazo con un funcionamiento a alta temperatura. Las resinas termoestables adecuadas también pueden seleccionarse de acuerdo con el proceso para formación del núcleo compuesto con el objeto de reducir al mínimo la fricción durante el procesamiento, aumentar la velocidad del proceso y viscosidad preferible para lograr la proporción de fibra / resina apropiada en el núcleo compuesto final.

El núcleo compuesto de la presente invención comprende resinas que tienen buenas propiedades mecánicas y resistencia química a exposición prolongada por al menos aproximadamente 60 años de uso. Más preferiblemente, el núcleo compuesto de la presente invención comprende resinas que tienen buenas propiedades mecánicas y resistencia química a exposición prolongada por al menos aproximadamente 70 años de uso. Además, el núcleo compuesto de la presente invención comprende resinas que operan preferiblemente dentro del intervalo de aproximadamente 70 a aproximadamente 230 °C. Más preferiblemente, la resina opera dentro del intervalo de aproximadamente 170 a aproximadamente 200 °C.

El núcleo compuesto de la presente invención comprende una resina que se piensa suficiente para soportar las operaciones de empalme sin permitir que el cuerpo de compuesto se agriete. Un elemento esencial de la presente invención es la capacidad de empalmar el miembro de núcleo compuesto en el producto de cabe final. El núcleo compuesto de la presente invención comprende resina que tiene una aspereza de fractura de resina preferiblemente dentro del intervalo de aproximadamente 0,87 INS-l/p a aproximadamente 1,24 INS-l/p.

El núcleo compuesto de la presente invención comprende una resina que tiene un coeficiente de dilatación térmica bajo. Un coeficiente de dilatación térmica bajo reduce la cantidad de flexión en el cable resultante. Una resina de la presente invención preferiblemente opera en el intervalo de aproximadamente  $15 \times 10^{-6}$  y aproximadamente  $42 \times 10^{-6}$  C. El núcleo compuesto de la presente invención comprende una resina que tiene un alargamiento mayor que aproximadamente un 4,5 %.

Un núcleo compuesto de la presente invención comprende las fibras incluidas en una resina a alta temperatura que tiene al menos un 50 % de fracción de volumen. La proporción de fibra a resina afecta las propiedades físicas del miembro de núcleo compuesto. En particular, la resistencia, conductividad eléctrica, y coeficiente de dilatación térmica son funciones del volumen de fibra del núcleo compuesto. En general, mientras más altas sean las fracciones de volumen de las fibras en el compuesto, más alta será la resistencia a la tracción para el compuesto resultante. Una fracción de volumen de fibra a resina de la presente invención preferiblemente se encuentra dentro del intervalo de aproximadamente un 50 a un 57 % correspondiente a preferiblemente dentro de aproximadamente un 62 a aproximadamente un 75 % en peso. Más preferiblemente, la proporción de fibra / resina en la presente invención es de aproximadamente un 65 a aproximadamente un 72 % en peso. Más preferiblemente, la fracción de volumen de fibra en la presente invención satisface o supera aproximadamente un 72 % en peso.

Cada tipo de fibra del núcleo compuesto puede tener una proporción diferente de fibra / resina en peso relativa a las

5 otras fibras Esto se realiza al seleccionar el número apropiado de cada tipo de fibra y el tipo de resina apropiado para lograr la proporción deseada. Por ejemplo, un miembro de núcleo compuesto que tiene un núcleo interior de carbono / epoxi rodeado por una capa exterior de vidrio / epoxi puede comprender 126 bobinas de fibra de vidrio y resina de epoxi que tiene una viscosidad de aproximadamente 2000 a aproximadamente 6000 cPs a 50 °C que produce una proporción de fibra / resina previamente determinada de aproximadamente 75/25 en peso. Preferiblemente, la resina puede sintonizarse para lograr la viscosidad deseada para el proceso. El compuesto puede también tener 16 bobinas de fibra de carbono y resina de epoxi que tiene una viscosidad de aproximadamente 2000 a aproximadamente 6000 cPs a 50 °C que produce una proporción previamente determinada de fibra / resina de aproximadamente 70/30 en peso. El cambio de número de bobinas de fibra cambia la proporción de fibra / resina en peso, cambiando de este modo las características físicas del producto de núcleo compuesto. Como alternativa, la resina puede ajustarse aumentando o reduciendo de este modo la viscosidad de resina para cambiar la proporción de fibra / resina.

15 Los cables de compuesto hechos de acuerdo con la presente invención muestran propiedades físicas en donde estas ciertas propiedades físicas pueden controlarse al cambiar los parámetros durante el proceso de formación de núcleo compuesto. Más específicamente, el proceso que forma el núcleo compuesto es ajustable para lograr las características físicas deseadas en un cable de ACCC final.

20 De acuerdo con la invención, un proceso de formación de etapa B multi-fase produce un miembro de núcleo compuesto de longitudes substancialmente continuas de estopas de fibra adecuadas y resinas procesables con calor. En una etapa adicional, el miembro de núcleo compuesto se envuelve con aluminio de alta conductividad.

25 Un proceso para hacer núcleos compuestos para cables de ACCC de acuerdo con la invención se describe tal como sigue. Haciendo referencia a la figura 1, el proceso de formación de etapa B de núcleo conductor de la presente invención se muestra y se designa, en general, mediante el número de referencia 10. El proceso de formación de etapa B 10 se emplea para hacer longitudes continuas de miembros de núcleo compuesto de mechas o estopas de fibra adecuadas y resinas procesables por calor. El miembro de núcleo compuesto resultante comprende un núcleo concéntrico hibridado que tiene una capa interior y exterior de fibras substancialmente paralelas uniformemente distribuidas.

30 Al iniciar la operación, el mecanismo de bobina de halado y devanado se activa para comenzar el halado. Las estopas de fibra iniciales no impregnadas que se extienden desde el extremo de salida de la porción de enfriamiento en la zona 9 sirven como guías al comienzo de la operación para halar las estopas de fibra 12 de las bobinas 11 a través de la guía de estopa de fibra 18 y el sistema de procesamiento de núcleo compuesto.

35 En la figura 1, múltiples bobinas de estopas de fibra 12 están contenidas dentro de un sistema de rejilla 14 y se dotan de los extremos de las estopas de fibra individual 12, que se guían desde las bobinas 11, roscándose a través de una guía de estopa de fibra 18. Las fibras experimentan el halado tangencial para prevenir las fibras retorcidas. Preferiblemente, un aparato de halado 16 en el extremo del aparato hala las fibras a través del aparato. Cada rejilla de distribución 14 comprende un dispositivo que permite el ajuste de la tensión para cada bobina 11. Por ejemplo, cada rejilla 14 puede tener un freno pequeño en la rejilla de distribución para ajustar individualmente la tensión para cada bobina. El ajuste de tensión reduce la catenaria y el entrecruzamiento de la fibra cuando pasa y ayuda en el proceso de humectación. Las estopas 12 se halan a través de la guía 18 y en un horno de precalentamiento 20 que evacua humedad. El horno de precalentamiento 20 utiliza flujo de aire circular continuo y un elemento de calentamiento para mantener la temperatura constante.

45 Las estopas 12 se halan en un tanque de humectación 22. El tanque de humectación 22 se llena con la resina para impregnar las estopas de fibra 12. El exceso de resina se retira de las estopas de fibra 12 durante la salida del tanque de humectación 22. Las estopas de fibra 12 se halan del tanque de humectación 22 a un sistema secundario, horno de etapa B 24. El horno de etapa B calienta la resina a una temperatura que cambia la etapa líquida de la resina a una etapa de semi-curado. La resina de curado de etapa B se encuentra en una etapa pegajosa que permite que las estopas de fibra 12 se doblen, cambien, compriman y configuren. La viscosidad se controla por manipulación del tipo de resina, el tipo de fibra, el conteo de rosca y el tamaño de las fibras y temperatura del horno. Las estopas de fibra 12 se mantienen separadas por la guía 18, se halan en un horno de etapa B 26 que comprende una pluralidad de casquillos consecutivos para comprimir y configurar las estopas 12. En el horno de etapa B 26, las estopas de fibra 12 se dirigen a través de una pluralidad de pasajes proporcionadas por los casquillos. Los pasajes consecutivos continuamente comprenden y configuran los casquillos de fibra 12 en el miembro de núcleo compuesto uniforme, final.

60 Preferiblemente, el miembro de núcleo compuesto se hala del segundo horno de etapa B 26 a un siguiente sistema de procesamiento de horno 28 en donde el miembro de núcleo compuesto se cura y hala a un siguiente sistema de enfriamiento 30 para su enfriamiento. Después del enfriamiento, el núcleo compuesto se hala a un siguiente sistema de procesamiento de horno 32 para post-curación a temperatura elevada. El proceso de post-curación promueve la reticulación aumentada dentro de la matriz de resina, dando como resultado unas características físicas mejoradas del miembro compuesto. El proceso permite, en general, un intervalo entre el proceso de calentamiento y enfriamiento y el aparato de halado 36 para enfriar el producto naturalmente o por convección de manera que el

dispositivo de halado 36 utilizado para sujetar y halar el producto no dañará el producto. El mecanismo de halado hala el producto a través del proceso con velocidad controlada por precisión.

Haciendo referencia en lo sucesivo más particularmente a la figura 1, en una realización preferida, el proceso continuamente hala la fibra de izquierda a derecha del sistema, a través de una serie de fases a las que se hace referencia en la misma como zonas. Cada zona realiza una diferente función de procesamiento. En la presente realización particular, el proceso comprende 9 zonas. El proceso se origina de una serie de rejillas de distribución de fibra 14 mediante las cuales un aparato de halado 34 continuamente hala las fibras 12 a través de cada zona. Una ventaja al sistema de halado es que funciona como un sistema de halado continuo accionado por un motor eléctrico como opuesto al sistema alternante tradicional. El sistema de halado utiliza un sistema de dos correas que pasan en las porciones, superior e inferior, del producto, apretando el producto entre ellas. De acuerdo con lo anterior, el sistema de halado incluye un sistema de halado uniforme simplificado de una multiplicad de partes de interacción que funcionan para impulsar el producto a través del proceso. Como alternativa, puede utilizarse un sistema alternante para halar las fibras a través del proceso.

El proceso inicia con la zona 1. La zona 1 comprende un tipo de sistema de distribución de fibra. Las fibras que pueden utilizarse por ejemplo son: fibras de vidrio, fibras de carbono, tanto de alto módulo como de alta resistencia (a base de brea), fibras de basalto, fibras de Aramida, fibras de cristal líquido, fibras de Kevlar, fibras de boro, fibras de polietileno de alto desempeño y nanofibra de carbono (CNF, *carbon nanofiber*). En una realización, el sistema de distribución de fibra comprende dos rejillas 13, conteniendo cada rejilla una pluralidad de bobinas 11 que contienen unas estopas de fibra 12. Además, las bobinas 11 son intercambiables para dar cabida a varios tipos de estopas de fibra 12 dependiendo de las propiedades de densidad del miembro de núcleo compuesto.

Por ejemplo, un miembro de núcleo compuesto preferido formado por el proceso de formación de etapa B comprende un núcleo interior de carbono / resina rodeado por una capa de núcleo exterior de vidrio / resina. Preferiblemente, se utiliza carbono de alta calidad y alta resistencia. La matriz de resina también protege las fibras de daño de superficie, y previene el agrietamiento a través de una masa de fibras mejorando la resistencia a fractura. El proceso de formación de etapa B de núcleo conductor 10 crea un sistema para halar las fibras para lograr el grado óptimo de unión entre las fibras para crear un miembro compuesto con propiedades de compuesto óptimas.

Tal como se ha mencionado en lo que antecede, los componentes del núcleo compuesto se seleccionan en base a las características de núcleo compuesto deseadas. Una ventaja del proceso es la capacidad para ajustar los componentes compuestos para que el núcleo compuesto logre los objetivos deseados de un cable de ACCC final, principalmente, un cable que lleva corriente sin dilatación térmica indebida dando lugar a flexión y sin reducción de resistencia a la tracción. Es preferible combinar los tipos de fibras para combinar las características físicas de cada una. El desempeño puede mejorarse al formar un núcleo con una rigidez y una resistencia aumentadas, acoplado con una capa exterior más flexible. El proceso aumenta las características óptimas del compuesto al prevenir el retorcido de las mechas que conducen a características de resistencia y humectación uniforme.

Por ejemplo, en una realización preferida del miembro de núcleo compuesto, el núcleo compuesto comprende vidrio y carbono. Utilizando el proceso de formación de etapa B, las rejillas 13 sujetan 126 bobinas 11 de vidrio y 16 bobinas 11 de carbono. Las estopas de fibra 12 que se guían desde las bobinas 11 se roscan a través de una guía de estopa de fibra 18 en donde los pasajes de estopa de fibra se ordenan para proporcionar una configuración para formación de un miembro de compuesto de núcleo que tiene un núcleo de carbono uniforme y capa de vidrio exterior. La capa de carbono se caracteriza por una alta resistencia y rigidez y es un conductor eléctrico débil mientras que la capa de vidrio de módulo bajo exterior es más flexible y no conductiva. Tener una capa de vidrio exterior proporciona una capa aislante exterior entre el carbono y el aluminio de alta conductividad que se envuelven en el producto conductor compuesto final.

El sistema de distribución de fibra distribuye fibra tangente del halado del paquete de fibra. El halado tangente de la bobina no retorcerá la fibra. El método de halado central retorcerá las fibras distribuidas de la bobina. En ese sentido, el método de halado centra da como resultado un número aumentado de fibras retorcidas. La fibra retorcida ocasionalmente yacerá sobre otra fibra retorcida y creará un compuesto con múltiples manchas de fibra seca. Es preferible utilizar el halado tangente para evitar las manchas secas y optimizar la capacidad de humectación de las fibras.

Las estopas de fibra 12 se roscan a través de un sistema de guía 18. Preferiblemente, la guía 18 comprende un polietileno y casquillos de acero que contienen una pluralidad de pasajes en un patrón previamente determinado que guía las fibras para prevenir que las fibras se crucen. Haciendo referencia a la figura 2, la guía comprende un casquillo con pasajes lo suficientemente separados para la inserción de las fibras en un patrón previamente determinado. Los pasajes están contenidos dentro de una porción cuadrada interior 40. Los pasajes se ordenan en filas de número variable en donde las fibras de carbono de diámetro más largo pasan a través del centro de dos filas de pasajes 42 y las fibras de vidrio de diámetro más pequeño pasan a través de las dos filas exteriores 44 en cualquier lado de los pasajes de carbono 42. Un dispositivo de tensión, preferiblemente en cada bobina, ajusta la tensión de las fibras haladas y asegura que las fibras se halen rectas a través de la guía 18.

Al menos dos fibras se halan a través de cada pasa en la guía 18. Por ejemplo, una guía 18 que comprende 26 pasajes hala 52 fibras, en donde cada pasaje tiene dos fibras. Si una fibra de un par se frena, un sistema alerta al proceso de formación de etapa B del núcleo compuesto 10 de que existe una fibra rota y detiene el aparato de halado 34. Como alternativa, en una realización, una fibra rota alerta al proceso y la reparación puede hacerse sin detener el proceso dependiendo de si tiene lugar la rotura. Para la reparación, una nueva fibra se hala desde la rejilla 13 y se pega al extremo otro de la nueva fibra. Después de que la fibra se repara, la máquina de formación de etapa B de núcleo conductor 10 se inicia de nuevo.

De forma preferida, las fibras se agrupan en una instalación paralela para una pluralidad de filas. Por ejemplo, en la figura 2, existen seis filas paralelas de pasajes. Las dos filas exteriores comprenden 32 pasajes, las dos filas interiores comprenden 31 pasajes, y las dos filas centrales comprenden 4 pasajes cada una. Las fibras se halan al menos dos a la vez en cada pasaje y se halan en la zona 2.

La zona 2 comprende un sistema de procesamiento de horno que precalienta las fibras secas para evacuar cualquier humedad. Las fibras de la presente invención se calientan preferiblemente dentro del intervalo de aproximadamente 65,55 a 121,11 °C para evaporar la humedad.

El sistema de procesamiento de horno comprende una porción de horno en donde la porción de horno se diseña para promover flujo de aire transversal contra el flujo de material. La figura 9 ilustra una realización típica del sistema de horno. Un horno se designa, en general, con 60. Las fibras pasan a través del horno de el sentido de aguas arriba a aguas abajo, el aire pasa en el sentido inverso. El sistema de procesamiento de horno comprende un alojamiento de sistema de accionamiento por calor 64 que aloja un soplador 68 energizado por motor eléctrico 70 ubicado aguas arriba de un montaje calentador 66 para hacer circular aire en el sentido de aguas abajo a través del ducto de flujo de aire 62. El alojamiento de sistema de accionamiento por calor aloja un soplador 68 aguas arriba del montaje calentador 66. El soplador 68 impulsa aire a través del montaje calentador 66 y a través del sistema de horno. El aire fluye aguas abajo a un ducto de codo curvo 72. El ducto de codo curvo 72 cambia el flujo de aire de hasta 90 grados hacia un ducto de entrada 78 y a través de la entrada del horno 76. A través de la entrada de aire el flujo cambia 90 grados para fluir aguas arriba a través de un horno 60 contra el sentido de halado de las fibras. Al final del horno 60, el flujo de aire cambia 90 grados hacia abajo a través de la salida del horno 80 a través del ducto de salida 74 a través del motor 70 y de regreso al alojamiento del sistema de accionamiento por calor 64. El motor 70 comprende un motor eléctrico fuera del sistema de accionamiento por calor para prevenir el sobrecalentamiento. El motor 70 comprende una polea con una correa de sincronización que mueve el soplador con cuchillas 68. Preferiblemente, el sistema se controla por ordenador, lo que permite una circulación de aire continua a una temperatura deseada. Más preferiblemente, el proceso permite que la temperatura cambie en cualquier momento de acuerdo con las necesidades del proceso.

Por ejemplo, el ordenador detecta una temperatura debajo de la temperatura requerida y activa el elemento de calentamiento o desactiva el calentador cuando la temperatura es muy alta. El soplador sopla aire a través del elemento de calentamiento aguas abajo. El sistema fuerza aire para pasar en un ciclo cerrado circulando continuamente a través del horno manteniendo la temperatura constante.

La figura 10 es una vista más detallada de una realización preferida del elemento de calentamiento 66. En una realización, el montaje calentador comprende nueve calentadores eléctricos de acero horizontales 82. Cada unidad de calentamiento está separada y es distinta del otro calentador.

Cada unidad de calentamiento está separada por un espacio. Preferiblemente, después de detectar una temperatura diferencial, el ordenador activa el número de calentadores para proporcionar suficiente calor. Si el sistema lo requiere, el ordenador activa uno de los nuevos calentadores. Como alternativa, dependiendo de las necesidades del proceso, el ordenador activa uno de cada dos calentadores en el montaje calentador. En otra realización el ordenador activa todos los calentadores en el montaje calentador. En una alternativa adicional, el ordenador activa una porción de los calentadores en un montaje calentador o apaga todos los calentadores.

En una realización alternativa, los campos electromagnéticos penetran a través del material de proceso para calentar las fibras y eliminar cualquier humedad. En otra realización, las microondas impulsadas calientan las fibras y eliminan cualquier humedad. En otra realización, el procesamiento de haz de electrón utiliza electrones como radiación ionizante para eliminar cualquier exceso de humedad.

En otra realización, el aparato de halado hala las fibras de la zona 2 a la zona 3, el sistema de impregnación de fibra. La zona 3 comprende un tanque de humectación 22. En una realización preferida, el tanque de humectación 22 contiene un dispositivo que permite la redirección de las fibras durante la humectación. Preferiblemente, el dispositivo se ubica en el centro del tanque y mueve las fibras verticalmente hacia arriba o hacia abajo perpendiculares a la dirección de halado mediante lo cual la deflexión da lugar a que las fibras se reconfiguren de una configuración redonda a una configuración plana. La configuración plana permite que las fibras yaczan lado a lado y permitan que las fibras se humecten completamente por la resina.

Varias técnicas alternativas bien conocidas en la materia pueden emplearse para aplicar o impregnar las fibras con resina. Tales técnicas incluyen por ejemplo, rociado, inmersión, revestimiento inverso, cepillado e inyección de

resina. En una realización alternativa, la activación ultrasónica utiliza vibraciones para mejorar la capacidad de humectación de las fibras.

5 En general, cualquiera de las diversas composiciones de resina polimérica termoestable curables por calor conocidas pueden utilizarse con la invención. La resina puede ser por ejemplo, PEAR (Resina de Amida Poliéter), Bismaleimida, Poliimida, polímero de cristal líquido (LCP), y epoxi de alta temperatura a base de tecnología de cristal líquido o materiales de resina similares. Las resinas se seleccionan en base al proceso y las características físicas deseadas en el núcleo compuesto.

10 Además, la viscosidad de la resina afecta la velocidad de formación. Para lograr la proporción deseada de fibra / resina para formación del miembro de núcleo compuesto, preferiblemente la viscosidad varía dentro del intervalo de aproximadamente 200 a aproximadamente 1500 Centipoise a 20 °C. Más preferiblemente, la viscosidad cae en el intervalo de aproximadamente 200 a aproximadamente 600 Centipoise 20 °C. La resina se selecciona para tener buenas propiedades mecánicas y excelente resistencia química a exposición prolongada de al menos 60 años y más preferiblemente, al menos 70 años de funcionamiento hasta aproximadamente 230 °C. Una ventaja particular de la presente invención es la capacidad del proceso para dar cabida al uso de resinas de baja viscosidad. De acuerdo con la presente invención, es preferible lograr una proporción de fibra / resina dentro del intervalo de un 62 - 75 % en peso. Más preferible es una proporción de fibra / resina dentro del intervalo de un 72 - 75 % en peso. Las resinas de baja viscosidad humectarán lo suficientemente las fibras para el miembro de núcleo compuesto. Un polímero preferido proporciona resistencia a un amplio espectro de químicos agresivos y tiene propiedades aislantes y dieléctricas muy estables. Además es preferible que el polímero satisfaga requerimientos de gaseado ASTM E595 y pruebas de inflamación UL94 y es capaz de operar intermitentemente a temperaturas que varían entre 220 y 280X sin dañar térmica o mecánicamente el miembro de refuerzo.

25 Para lograr la proporción de fibra a resina deseada, el lado aguas arriba del tanque de humectación comprende un número de barras de limpieza redireccionales. A medida que las fibras se halan a través del tanque de humectación, las fibras se ajustan hacia arriba y abajo contra una serie de barras de limpieza de retirada de resina en exceso. Como alternativa, el sistema de redirección comprende un sistema de limpieza para limpiar el exceso de resina llevadas del tanque por las fibras. Preferiblemente, la resina en exceso se recolecta y recicla en el tanque de humectación 22.

35 Como alternativa, el tanque de humectación utiliza una serie de casquillos de apriete para retirar la resina en exceso. Durante el proceso de humectación cada manojo de fibras contiene tantas como tres veces la resina deseada para el producto final. Para lograr la correcta proporción de fibra y resina en la sección transversal de los miembros de núcleo compuesto, la cantidad de fibra pura se calcula. El casquillo de apriete se diseña para mover un porcentaje previamente determinado de resina. Por ejemplo, cuando el pasaje de casquillo es dos veces tan grande como el área de la sección transversal de la fibra, una concentración de resina mayor que un 50 % en valor no se halará a través del casquillo, se retirará la resina en exceso. Como alternativa, el casquillo puede diseñarse para permitir el paso de un 100 % de fibra y un 20 % de resina.

40 Preferiblemente, una bandeja de reciclaje se extiende a lo largo de la longitud bajo el tanque de humectación 22 para capturar la resina en exceso. Más preferiblemente, el tanque de humectación tiene un tanque auxiliar con capacidad de sobreflujo. La resina de sobreflujo se regresa al tanque auxiliar por gravedad a través de la tubería. Como alternativa, el sobreflujo de tanque se captura por un canal de sobreflujo y se regresa al tanque por gravedad. 45 En una alternativa adicional, el proceso utiliza un sistema de bomba de drenaje para reciclar la resina de regreso del tanque auxiliar y hacia el tanque humectante. Preferiblemente, un sistema informático controla el nivel de resina dentro del tanque. Los sensores detectan los bajos niveles de resina y activan una bomba para bombear resina en el tanque de mezclado auxiliar en el tanque de procesamiento. Más preferiblemente, existe un tanque de mezclado ubicado dentro del área del tanque de humectación. La resina se mezcla en el tanque de humectación y se bombea 50 en el tanque de humectación de resina.

Los aparatos de halado halan las fibras de las zonas 3 a la zona 4, la zona de etapa B. La zona 4 comprende un sistema de procesamiento de horno 24. Preferiblemente, el sistema de procesamiento de horno es un horno con un sistema informático que controla la temperatura del aire y mantiene el flujo de aire constante en donde el horno es el mismo que el horno en la zona 2. 55

Los aparatos de halado halan las fibras de la zona 3 a la zona 4. El horno hace circular aire en un sentido circular aguas abajo a aguas arriba por un sistema de calentamiento de halado. El sistema informático controla la temperatura a una temperatura para calentar la fibra húmeda a etapa B. Preferiblemente, el proceso determina la temperatura. La temperatura de etapa B de la presente invención varía de dentro de aproximadamente 93,33 a 121,11 °C. Una ventaja del proceso de semi-curado de etapa B en la presente invención es la capacidad de calentar la resina a un estado de semi-curado en una duración de tiempo corta, aproximadamente 1 - 1,5 minutos durante la continuación del proceso. La ventaja es que la etapa de calentamiento no afecta la velocidad de procesamiento del sistema. El proceso de etapa B permite la sintonización adicional de la proporción de fibra / resina al retirar el exceso de resina de la etapa de humectación. Además, la etapa B permite la matriz de fibra / resina para compactarse adicionalmente y configurarse durante el proceso. De acuerdo con lo anterior, el proceso difiere de los procesos 60 65

previos que utilizan un semi-curado pre-preg. El calentamiento semi-cura las fibras a un estado viscoso.

Más específicamente, en las aplicaciones de procesamiento de compuesto tradicional, las fibras humectadas se calientan gradualmente a una etapa de semi-curado. No obstante, el proceso de calentamiento precisa, en general, de unos periodos de una hora o más para alcanzar la etapa de semi-curado. Además, el compuesto se ha de envolver y congelar inmediatamente para mantener el compuesto en la etapa de semi-curado y prevenir la curación a una etapa final. De acuerdo con lo anterior, el procesamiento se fragmenta debido a que es necesario retirar el producto de la línea para configurar el producto.

De acuerdo con la presente invención, el calentamiento de etapa B se dedica a una aplicación comercial de alta eficiencia en donde el semi-curado es rápido, preferiblemente 1 - 1,5 minutos durante un proceso continuo en línea dentro del proceso. Preferiblemente, las resinas se diseñan para permitir la semi-curación de etapa B rápida que se mantiene constante a través del proceso que permite la formación y configuración y compactación adicional del producto.

Los aparatos de halado halan las fibras de la zona de etapa B 4 a la zona 5 para la formación del miembro de núcleo compuesto. La zona 5 comprende un siguiente sistema de procesamiento de horno 26 que tiene una pluralidad de casquillos. Los casquillos funcionan para formar la sección transversal de las estopas de fibra 12. Preferiblemente, los casquillos se configuran en una serie que comprende una configuración paralela entre sí. En la presente realización, existe un conjunto de siete casquillos separados lateralmente dentro del sistema de procesamiento de horno 26. Preferiblemente, el espacio de los casquillos se ajusta de acuerdo con el proceso. Los casquillos pueden separarse a una equidistancia o distancia variable uno del otro.

La serie de casquillos en la zona 5 reducen al mínimo la fricción debido al casquillo relativamente delgado que varía dentro de aproximadamente 0,9525 centímetros a aproximadamente 1,905 centímetros. La reducción al mínimo de la fricción ayuda a aumentar al máximo la velocidad del proceso.

Las zonas 4, 5, y 6 de la presente invención se extienden dentro del intervalo de aproximadamente 9,12 - 13,68 metros. Más preferiblemente, las zonas 4, 5 y 6 se extienden al menos 9,12 metros. Esta distancia de halado y la fricción reducida debido a las placas de casquillos ayuda a lograr una velocidad de halado deseada en el intervalo de aproximadamente 2,7 m/min a aproximadamente 15,20 m/min. Más preferiblemente, aproximadamente 6,08 m/min. La velocidad de procesamiento se aumenta además debido a la alta proporción de fibra / resina.

Haciendo referencia a la figura 3, por ejemplo, los casquillos 90 comprenden una placa de acero plana con una pluralidad de pasajes a través de los cuales las estopas de fibra 12 se halan. El casquillo de acero de placa plana 90 preferiblemente varía de 0,9525 centímetros a 1,27 centímetros de grueso determinado por el proceso. Los casquillos 90 tienen unas paredes relativamente delgadas para reducir la cantidad de fricción de calor que se ha de añadir o retirar por el proceso de enfriamiento y calentamiento con objeto de lograr los cambios de temperatura requeridos para efectuar la curación de la matriz de resina de fibra. El espesor del casquillo 90 es preferiblemente el espesor mínimo requerido para proporcionar la resistencia estructural necesaria para restringir las fuerzas impuestos en el casquillo 90 por el material que pasa a través del mismo. En particular, el espesor del casquillo 90 es preferiblemente el mínimo necesario para limitar la deformación de la pared del casquillo a un nivel tolerable que no interfiere con el halado del material a través del sistema.

Preferiblemente, el diseño y tamaño de los casquillos 90 son el mismo. Más preferiblemente, los pasajes dentro de cada casquillo 90 disminuyen en tamaño y varían en ubicación dentro de cada casquillo sucesivo 90 en el sentido de aguas arriba. La figura 3 ilustra una realización preferida de un casquillo 90. El casquillo 90 comprende dos porciones enganchadas 94 y una porción preferiblemente cuadrada interior 92. La porción cuadrada interior 92 aloja los pasajes a través de los cuales el mecanismo de halado hala la fibra. Las porciones enganchadas exteriores 94 forman un sistema de soporte mediante el cual el casquillo 90 se coloca dentro del horno en la zona 5. La porción enganchada exterior 94 se conecta con las vigas de acero largas de interfijación dentro del horno que funcionan para soportar los casquillos 90.

La zona 5 comprende una serie de ocho casquillos consecutivos. Los casquillos tienen dos funciones: (1) guiar la fibra en la configuración para el producto final; y (2) formar y comprimir las fibras. En una realización, los casquillos 90 se colocan aparte dentro del horno soportados en las estructuras enganchadas. Los casquillos 90 funcionan para comprimir continuamente las fibras y formar un núcleo compuesto que comprende, en la presente realización, carbono y vidrio mientras este proceso se encuentra bajo tensión apropiada para lograr la concetricidad y distribución uniforme de la fibra sin enredar las fibras. Los casquillos 90 pueden diseñarse para formar manojos de una pluralidad de geometrías. Por ejemplo, la figura 5 ilustra las variaciones en secciones transversales en el miembro compuesto. Cada sección transversal resulta de un diseño de casquillo 90 diferente.

Los pasajes en cada casquillo sucesivo 90 disminuyen en tamaño compactando además los manojos de fibras. Por ejemplo, la figura 6 muestra cada casquillo 90 superpuesto uno sobre otro. Varios cambios son evidentes con cada casquillo consecutivo 90. En primer lugar, cada casquillo superpuesto 90 muestra que el tamaño de cada pasaje disminuye. Segundo, la figura superpuesta muestra la apariencia del agujero central para compactación del

elemento de núcleo. Tercero, la figura muestra el movimiento de los pasajes de esquina exteriores hacia la posición central.

Haciendo referencia a la figura 4, existen dos casquillos ilustrados. El primer casquillo 100 ilustrado, se encuentra en una configuración similar como el casquillo guía 18. El segundo casquillo 104 es el primero en la serie de casquillos que funcionan para comprimir y configurar el núcleo compuesto. El primer casquillo 100 comprende una porción cuadrada interior 92 con una pluralidad de pasajes 102 preordenados a través de los cuales las fibras se halan. Los pasajes 102 se diseñan para alinear las fibras en grupos en el casquillo dos 104 que tienen cuatro grupos exteriores 106 de fibras y cuatro grupos interiores 108 de fibras. La porción cuadrada interior del casquillo 100 comprende seis filas de pasajes 110. El orden de los pasajes 110 puede configurarse en cualquier pluralidad de configuraciones dependiendo de la geometría de sección transversal deseada del miembro de núcleo compuesto. La fila superior e inferior, 112 y 114, respectivamente, contienen el mismo número de pasajes. La siguiente fila, hacia arriba y la siguiente hacia abajo, 116 y 118 respectivamente, contienen el mismo número de pasajes y las dos filas interiores 120 y 122 contienen el mismo número de pasajes.

En una realización preferida, las filas superior e inferior, contienen 32 pasajes cada una. Las filas del siguiente nivel contienen 31 pasajes cada una. Las filas intermedias contienen 4 pasajes cada una. El mecanismo de halado hala dos fibras a través de cada pasaje. Haciendo referencia en lo sucesivo a la figura 4, por ejemplo, el mecanismo de halado hala 126 fibras de vidrio a través de las filas 112, 114, 116 y 118. Además, el mecanismo de halado hala de 16 fibras de carbono a través de las filas 120 y 122.

Haciendo referencia a la figura 7, el siguiente casquillo 130, casquillo tres en la serie comprende una porción cuadrada interior 131 que tiene cuatro pasajes de esquina exteriores 132a, 132b, 132c y 132d y cuatro pasajes interiores 134a, 134b, 134c y 134d. Las fibras salen del casquillo dos y se dividen en partes iguales y halan a través del casquillo tres. Cada pasaje en el casquillo tres comprende un cuarto del tipo particular de fibra halada a través del casquillo dos. Más específicamente, las dos filas superiores de la parte superior e inferior del casquillo dos se dividen a la mitad, mediante lo cual la mitad derecha de las dos filas superiores de fibras se hala a través de la esquina exterior derecha del casquillo tres. La mitad izquierda de dos filas superiores de fibras se hala a través de la esquina izquierda superior 132a del casquillo tres 130. La mitad derecha de las dos filas superiores de fibras se hala a través de la esquina derecha superior 132b del casquillo tres 130. La mitad derecha de las dos filas inferiores de fibras se hala a través de la esquina derecha inferior 132c del casquillo tres. La mitad izquierda de las dos filas inferiores de fibras se hala a través de la esquina izquierda inferior 132d del casquillo tres 130. Las dos filas interiores del casquillo uno se dividen a la mitad, mediante lo cual la mitad derecha superior en la fila intermedia superior de fibras se hala a través de la esquina derecha superior Interior 134b del casquillo tres 130. La mitad izquierda de la fila intermedia superior de fibras se hala a través de la esquina izquierda superior interior 134a del casquillo tres 130. La mitad derecha de la fila intermedia inferior de fibras se hala a través de la esquina derecha inferior interior 134c del casquillo tres 130. La mitad izquierda de la fila intermedia inferior de fibras se hala a través de la esquina izquierda inferior interior 134d del casquillo tres 130. De acuerdo con lo anterior, el casquillo tres 130 crea ocho manojos de fibras Impregnadas que se comprimirán continuamente a través de la serie de los siguientes casquillos.

El aparato de halado hala las fibras a través del casquillo tres 130 al casquillo cuatro 140. El casquillo cuatro 140 comprende la misma configuración que el casquillo tres 130. El casquillo cuatro 140 comprende una porción interior cuadrada 141 que tiene cuatro pasajes de esquina exteriores 142a, 142b, 142c y 142d y cuatro pasajes interiores 144a, 144b, 144c y 144d. Preferiblemente, los cuatro pasajes de esquina exteriores 142a-d y los cuatro pasajes interiores 144a-d son ligeramente más pequeños en tamaño que los pasajes similarmente configurados en el casquillo tres 130. El casquillo cuatro 140 comprime las fibras haladas a través del casquillo tres.

El aparato de halado hala las fibras del casquillo cuatro 140 al casquillo cinco 150. Preferiblemente, los cuatro pasajes de esquina exteriores 152a, 152b, 152c y 152d y los cuatro pasajes interiores 154a, 154b, 154c y 154d son ligeramente más pequeños en tamaño que los pasajes similarmente configurados en el casquillo cuatro 140. El casquillo cinco 150 comprime las fibras haladas a través del casquillo cuatro 140.

Para cada casquillo sucesivo, cada casquillo crea un manajo de fibras con un diámetro cada vez más pequeño. Preferiblemente, cada casquillo más pequeño se limpia del exceso de resina para acercarse a la proporción óptima y deseada de resina para composición de fibra.

El aparato de halado hala las fibras del casquillo cinco 150 al casquillo seis 160. Preferiblemente, los cuatro pasajes de esquina exteriores 162a, 162b, 162c y 162d y los cuatro pasajes interiores 164a, 164b, 164c y 164d son ligeramente más pequeños en tamaño que los pasajes similarmente configurados en el casquillo cinco 150. El casquillo seis 160 comprime las fibras haladas a través del casquillo cinco 150.

El casquillo siete 170 comprende una porción interior cuadrada 171 que tiene cuatro pasajes de esquina exteriores 172a, 172b, 172c y 172d y un pasaje interior 174. El aparato de halado hala las fibras de los cuatro pasajes interiores 164 del casquillo seis 160 a través del pasaje interior único 170. El proceso compacta el producto en un núcleo concéntrico uniforme final. Preferiblemente, las fibras se halan a través de las cuatro esquinas exteriores

172a, 172b, 172c y 172d del casquillo siete 170 de manera simultánea con la compactación de los cuatro pasajes interiores 164 del casquillo seis 160.

5 El aparato de halado hala las fibras a través del casquillo siete 170 al casquillo ocho 180. El aparato de halado hala el núcleo compactado interior 184 y las cuatro esquinas exteriores 182a, 182b, 182c y 182d migran hacia dentro más próximas al núcleo 184. Preferiblemente, las fibras exteriores disminuyen la distancia entre el núcleo interior y las esquinas exteriores por la mitad de la distancia.

10 El aparato de halado hala las fibras a través del casquillo ocho 180 al casquillo nueve 190. El casquillo 190 es el casquillo final para la formación del núcleo compuesto. El aparato de halado hala los cuatro manojos de fibra exteriores y el núcleo compactado a través de un pasaje 192 en el centro del casquillo nueve 190.

15 Preferiblemente, el casquillo nueve 190 compacta la porción exterior y la porción interior creando una porción interior de carbono y una porción exterior de fibra de vidrio. La figura 8 por ejemplo, ilustra una sección no transversal de un cable compuesto. El ejemplo ilustra un miembro de núcleo compuesto 200 que tiene una porción compuesta de fibra de carbono reforzada interior 202 rodeada por una porción compuesta de fibra de vidrio reforzada exterior 204.

20 La temperatura se mantiene constante por toda la zona 5. La temperatura se determina por el proceso y es lo suficientemente alta para mantener la resina en un estado semi-curado. Al final de la zona 5, el producto comprende el nivel final de compactación y el diámetro final.

25 El aparato de halado hala las fibras de la zona 5 a la zona 6, una etapa de curación que comprende preferiblemente un horno con calor constante y flujo de aire en la zona 5, 4 y 2. El horno utiliza el mismo calentamiento constante y flujo de aire circular cruzado que en la zona 5, la zona 4 y la zona 2. El proceso determina el calor de curación. El calor de curación permanece constante por todo el proceso de curación. En la presente invención, la temperatura preferida para curación varía de aproximadamente 176,66 °C a aproximadamente 204,44 °C. El proceso de curación preferiblemente se dilata dentro del intervalo de aproximadamente 2,432 a aproximadamente 4,56 metros. Más preferiblemente, el proceso de curación se dilata aproximadamente 3,04 metros en cuanto a la longitud. La temperatura de la zona 6 da como resultado una curación final que forma una resina dura.

30 La zona 6 puede incorporar un casquillo diez para asegurar que el miembro de núcleo compuesto de fibra final conserve su forma. Además, otro casquillo evita la aglomeración del núcleo durante la curación.

35 Durante las siguientes etapas el producto de miembro de núcleo compuesto se hala a través de una serie de fase de calentamiento y enfriamiento. El calentamiento de post-curado mejora la reticulación dentro de la matriz de resina, mejorando las características físicas del producto. Los aparatos de halado halan las fibras a la zona 7, un dispositivo de enfriamiento. Preferiblemente, la configuración mecánica del horno es la misma que en las zonas 2, 4, 5 y 6. Más específicamente, el dispositivo comprende un sistema de aire circular cerrado utilizando un dispositivo de enfriamiento y un soplador. Preferiblemente, el dispositivo de enfriamiento comprende una pluralidad de bobinas.  
40 Como alternativa, las bobinas pueden ser elementos de enfriamiento consecutivos horizontalmente estructurados. En una alternativa adicional, el dispositivo de enfriamiento comprende espirales de enfriamiento. El soplador se coloca aguas arriba del dispositivo de enfriamiento y sopla continuamente aire en la cámara de enfriamiento en el sentido de aguas arriba. El aire circula a través del dispositivo en una dirección circular cerrada que mantiene el aire a una temperatura constante. Preferiblemente, la temperatura de enfriamiento varía de aproximadamente 4,44 a aproximadamente 82,22 °C.

50 Los aparatos de halado halan el miembro compuesto a través de la zona 7 a la zona 8, la fase de post-curación. El miembro de núcleo compuesto se calienta a temperatura de post-curación para mejorar las propiedades mecánicas del producto de miembro de núcleo compuesto.

55 Los aparatos de halado halan el miembro de núcleo compuesto a través de la zona 8 a la zona 9, la fase de enfriamiento post-curación. Una vez que el núcleo compuesto se ha recalentado, el núcleo compuesto se enfría antes de que el aparato de halado atrape el núcleo compuesto compactado. Preferiblemente, el miembro de núcleo compuesto se enfría por una distancia que varía aproximadamente 2,432 a aproximadamente 4,56 metros por convección de aire antes de alcanzar el aparato de halado. Más preferiblemente, la distancia de enfriamiento es de aproximadamente 3,04 metros.

60 Los aparatos de halado halan el miembro de núcleo compuesto a través de la fase de enfriamiento de la zona 9 a la zona 10, un sistema de devanado mediante el cual el núcleo de fibra se envuelve en torno a una rueda para su almacenamiento. Es crítico para la resistencia del miembro de núcleo que el devanado no sobretense el núcleo por flexión. En una realización, el núcleo no tiene retorcimiento alguno y solo puede doblarse en cierta medida. En otra realización, la rueda tiene un diámetro de 2,128 metros y maneja hasta 2067,2 metros de miembro de núcleo compuesto curado, completo. La rueda se diseña para dar cabida a la rigidez del miembro de núcleo compuesto formado de etapa B sin forzar el miembro de núcleo en una configuración que sea demasiado compacta. En una  
65 realización adicional, el sistema de devanado comprende un medio para prevenir que la rueda invierta el flujo de devanado a no devanado. Los medios pueden ser cualquier dispositivo que evita que el sentido de la rueda se

invierta, por ejemplo, un sistema de frenado.

En una realización adicional, el proceso incluye un sistema de control de calidad que comprende un sistema de inspección de línea. El proceso de control de calidad asegura un producto consistente. El sistema de control de calidad puede incluir inspección ultrasónica de miembros de núcleo compuesto; registrar el número de estopas en el producto final; monitorear la calidad de la resina, monitorear la temperatura de los hornos y el rendimiento durante varias fases; medir la formación; medir la velocidad del proceso de halado. Por ejemplo, cada grupo de miembro de núcleo compuesto tiene datos de soporte para mantener al proceso funcionando de manera óptima. Como alternativa, el sistema de control de calidad comprende un sistema de marcado. El sistema de marcado en donde el sistema de marcado marca los miembros de núcleo compuesto con la información del producto del lote particular. Además, los miembros de núcleo compuesto pueden colocarse en diferentes clases de acuerdo con unas calidades específicas, por ejemplo, Clase A es alta calidad, Clase B y Clase C.

Las fibras utilizadas para procesar los miembros de núcleo compuesto pueden intercambiarse para satisfacer las especificaciones requeridas por el producto de miembro de núcleo compuesto, final. Por ejemplo, el proceso permite la sustitución de las fibras en un miembro de núcleo compuesto que tiene un núcleo de carbono y un núcleo exterior de fibra exterior con vidrio E y carbono de alta calidad. El proceso permite el uso de fibras de mejor desempeño más costosas en lugar de fibras menos costosas debido a la combinación de fibras y el tamaño de núcleo pequeño requerido. En una realización, la combinación de las fibras crea un núcleo interior altamente resistente con conductividad mínima rodeado por una capa aislante exterior no conductiva de bajo módulo. En otra realización, la capa aislante exterior contribuye a la flexibilidad del miembro de núcleo compuesto y permite al miembro de núcleo enrollarse, almacenarse y transportarse.

Otra realización de la invención, permite el rediseño de la sección transversal de núcleo compuesto para dar cabida a propiedades físicas variables e aumentar la flexibilidad del miembro de núcleo compuesto. Haciendo referencia de nuevo a la figura 5, las diferentes formas compuestas cambian la flexibilidad del miembro de núcleo compuesto. El cambio del diseño de núcleo puede permitir el devanado del núcleo en una rueda de diámetro más pequeño. Además, el cambio del diseño del núcleo compuesto puede afectar a la rigidez y a la resistencia del núcleo interior. Como una ventaja, la geometría de núcleo puede diseñarse para lograr las características físicas óptimas deseadas en el cable de ACCC final.

En otra realización de la invención, el diámetro de núcleo es mayor que 0,9525 centímetros. Un núcleo mayor que 0,9525 centímetros no puede doblarse para lograr una envoltura de diámetro de rueda de 2,128 metros. La resistencia potencial en la forma de doblez exterior supera la resistencia del material y el material se romperá. Un diámetro de núcleo de 1,27 centímetros a 1,58 centímetros puede requerir un diámetro de rueda de 4,56 metros y esto no es comercialmente viable. Para aumentar la flexibilidad del núcleo compuesto, el núcleo puede retorcerse o segmentarse para lograr un diámetro de envoltura que es aceptable. Un giro de 360 grados de orientación de fibra en el núcleo para una revolución de núcleo. Como alternativa, el núcleo puede ser una combinación de fibra recta y retorcida. El giro puede determinarse por el límite del diámetro de rueda. Si el límite se prohíbe entonces el giro por una revolución de diámetro de la rueda. La tensión y tensiones de compresión en el núcleo se equilibran por una revolución.

La tensión de devanado se reduce al producir un núcleo en segmentos. La figura 5 ilustra algunos ejemplos de configuraciones transversales posibles de núcleos en segmentos. El núcleo en segmentos bajo el proceso se forma al curar la sección como piezas separadas en donde las piezas separadas se agrupan entonces juntas. La segmentación del núcleo permite que un producto de miembro compuesto que tiene un núcleo mayor que 0,9525 centímetros para lograr un diámetro de devanado deseable sin una tensión adicional en el producto de miembro.

La geometría variable de las secciones transversales en los miembros de núcleo compuesto se procesan preferiblemente como una corriente múltiple. El sistema de procesamiento se diseña para dar cabida a la formación de cada segmento en paralelo. Preferiblemente, cada segmento se forma al intercambiar la serie de casquillos consecutivos para casquillos que tienen unas configuraciones previamente determinadas para cada uno de los pasajes. En particular, el tamaño de los pasajes puede variarse para dar cabida a más o menos fibra, el orden de los pasajes puede variarse con objeto de combinar las fibras en una configuración diferente en el producto final y casquillos adicionales pueden añadirse dentro de la pluralidad de casquillos consecutivos para facilitar la formación de las secciones transversales geométricas variadas en el miembro de núcleo compuesto. Al final del sistema de procesamiento las cinco secciones en las cinco corrientes de procesamiento se combinan al final del proceso para formar el núcleo de cable compuesto. Como alternativa, los segmentos pueden retorcerse para aumentar la flexibilidad y facilitar el devanado. El núcleo compuesto final se envuelve en aluminio de alta conductividad de peso ligero formando un cable compuesto. Preferiblemente, el cable de núcleo compuesto comprende un núcleo de carbono interior que tiene una capa compuesta de fibra de vidrio aislante exterior y dos capas de filamentos de forma trapezoidal de aluminio.

En una realización, la capa interior del aluminio comprende una pluralidad de segmentos de aluminio de forma trapezoidal envueltos en una dirección en el sentido contrario a las agujas del reloj en torno al miembro de núcleo compuesto. Cada sección trapezoidal se diseña para optimizar la cantidad de aluminio e aumentar la conductividad.

La geometría de los segmentos trapezoidales permite que cada segmento se ajuste herméticamente y en torno al miembro de núcleo compuesto.

En una realización adicional, la capa exterior de aluminio comprende una pluralidad de segmentos de aluminio de forma trapezoidal envueltos en una dirección en el sentido de las agujas del reloj en torno al miembro de núcleo compuesto. El sentido opuesto de envoltura evita el retorcimiento del cable final. Cada elemento de aluminio trapezoidal se ajusta herméticamente con los elementos de aluminio trapezoidal envueltos en torno a la capa de aluminio interior. El ajuste hermético optimiza la cantidad de aluminio y reduce el aluminio requerido para alta conductividad.

Ejemplo

Una realización particular de la invención se describe en lo sucesivo en donde el miembro de refuerzo compuesto comprende vidrio E y carbono tipo 13 en tamaño. El vidrio E combina las propiedades deseables de buena estabilidad de calor y química, y buena resistencia eléctrica con alta resistencia. La forma en sección transversal o perfil se ilustra en la figura 8 en donde el miembro de refuerzo compuesto comprende un núcleo de carbono encapsulado concéntrico por una capa uniforme de compuesto de fibra de vidrio. En una realización preferida, el proceso produce un miembro de núcleo hibridado que comprende dos materiales diferentes.

Las estructuras de fibra en la presente realización particular son 126 extremos de producto de vidrio E, rendimiento 900. Veterotex AMER y 16 extremos de carbono Toracya T7DOS, rendimiento 24K. La resina utilizada es Aralite MY 721 de Vantico.

Durante el funcionamiento, los extremos de 126 estopas de fibra de vidrio E y 16 estopas de fibra de carbono se enroscan a través de una estopa de fibra guía que comprende dos filas más hacia adentro de 4 pasajes y hacia una etapa de precalentamiento a 65,55 °C para evacuar cualquier humedad. Después de pasar a través del horno de precalentamiento, las estopas de fibra se halan a través de un tanque de humectación. En el tanque de humectación un dispositivo mueve de manera efectiva las fibras hacia arriba y hacia abajo en una dirección vertical permitiendo humectación total de las estopas de fibra. En el lado aguas arriba del tanque humectante se ubica un sistema de limpieza que retira el exceso de resina a medida que las estopas de fibra se halan del tanque. El exceso de resina se recolecta por una bandeja de sobreflujo de resina y se añade de nuevo al tanque de humectación de resina.

Las estopas de fibra se halan del tanque de humectación a un horno de etapa B que semi-cura las estopas de fibra impregnadas de resina a una etapa de viscosidad. En esta etapa las estopas de fibra pueden compactarse además y configurarse en su forma final en la siguiente fase. Las estopas de fibra se halan a un siguiente horno a una temperatura de horno de etapa B para mantener el estado viscoso. Dentro del horno se encuentran ocho casquillos consecutivos que funcionan para compactar y configurar las estopas de fibra a la forma de miembro de núcleo compuesto final. Dos extremos de la estopa de fibra se roscan a través de cada uno de los 134 pasajes en el primer casquillo que se maquinan a unas dimensiones previamente calculadas para lograr un volumen de fibra de 72 por ciento y un volumen de resina de 28 por ciento en el miembro de núcleo de compuesto final. Los extremos de las estopas de fibra que salen de los pasajes en el punto derecho superior que comprenden la mitad de las dos filas se roscan a través de los pasajes 132 del siguiente casquillo; los extremos de las estopas de fibra que salen de los pasajes en el punto izquierdo superior que comprenden la mitad de las dos filas superiores se roscan a través del pasaje 136 del siguiente casquillo, los extremos de las estopas de fibra que salen de los pasajes en el punto derecho inferior que comprenden la mitad de las dos filas inferiores se roscan a través del pasaje 140 del siguiente casquillo; los extremos de las estopas de fibra que salen de los pasajes en el punto izquierdo inferior que comprenden la mitad de las dos filas inferiores se roscan a través del pasaje 138 del siguiente casquillo; los puntos, derecho e izquierdo de los pasajes en la fila superior intermedia se roscan a través de los pasajes 142 y 144 del siguiente casquillo en los puntos, derecho e izquierdo de los pasajes en la fila inferior intermedia se roscan a través de los pasajes 134 y 146, respectivamente.

Las estopas de fibra se halan consecutivamente a través de los pasajes, exterior e interior, de cada casquillo sucesivo compactando además y configurando los manojos de fibras. En el casquillo siete, los manojos de fibras halados a través de los cuatro pasajes interiores del casquillo seis se combinan para formar un núcleo compuesto mientras que los pasajes exteriores restantes continúan manteniendo cuatro fibras manojos de fibras de vidrio separados. Los cuatro pasajes exteriores del casquillo siete se mueven más próximos hacia el casquillo ocho, más próximos al núcleo de carbono interior. Las estopas de fibra se combinan con el núcleo de carbono interior en el casquillo nueve formando un miembro de núcleo compuesto hibridado que comprende un núcleo de carbono que tiene una capa de vidrio exterior.

El miembro de núcleo compuesto se hala del casquillo nueve a un horno de curación final a una temperatura elevada de 193,33 °C según se requiere para la resina específica. Del horno de curación el miembro de núcleo compuesto se hala a través de un horno de enfriamiento a enfriarse a 65,55 a 82,22 °C. Después de enfriar el miembro de núcleo compuesto se hala a través de un horno de curación de poste a temperatura elevada, preferiblemente para calentar el miembro a al menos la temperatura de etapa B. Después de la post-curación, el miembro se enfría por aire a aproximadamente 180 °C. El miembro se enfría antes de atraparse por el aparato de

halado a la rueda de devanado de núcleo que tiene 18324 metros de almacenamiento.

Ejemplo

5 Un ejemplo de un cable reforzado de ACCC de acuerdo con la presente invención es tal como sigue. Un cable  
 reforzado de ACCC que comprende cuatro capas de componentes que consisten en una capa de carbono / epoxi  
 inferior, una siguiente capa de fibra de vidrio / epoxi y dos capas de filamentos de aluminio en forma de tetraedro. El  
 miembro de refuerzo consiste en un compuesto de carbono / epoxi T700S avanzado que tiene un diámetro de  
 10 aproximadamente 0,54991 centímetros, rodeado por una capa exterior de fibra de vidrio / epoxi R099-688 que tiene  
 un diámetro de capa de aproximadamente 0,9525 centímetros. La capa de fibra de vidrio/epoxi se rodea por una  
 capa interior de nueve filamentos de aluminio de forma trapezoidal que tiene un diámetro de aproximadamente 1,88  
 centímetros y una capa exterior de trece filamentos de aluminio de forma trapezoidal que tienen un diámetro de  
 aproximadamente 2,81 centímetros. El área total de carbono es aproximadamente 2,38 cm<sup>2</sup>, de vidrio es  
 15 aproximadamente 0,0477 cm<sup>2</sup>, de aluminio interior es aproximadamente 2,032 cm<sup>2</sup>, y aluminio exterior es  
 aproximadamente 3,37 cm<sup>2</sup>. La proporción de fibra a resina en el miembro de refuerzo de carbono interior es 70/30  
 en peso y la proporción de fibra de capa de vidrio exterior a resina es 75/25 en peso.

Las especificaciones concretas se resumen en la siguiente tabla:

Vidrio

Mecha Vetrotex R099-686 (Rendimiento 900)	
Resistencia a la tracción, psi	298.103
Alargamiento a rotura, %	3,0
Módulo de tracción, x 10 <sup>6</sup> psi	11,2
Contenido de Vidrio, %	57,2

Carbono (grafito)

Carbono: Torayca T700S (Rendimiento 24K)	
Resistencia a la tracción, Ksi	711
Módulo de tracción, Msi	33,4
Deformación	2,1 %
Densidad lbs/ft <sup>3</sup>	0,065
Diámetro de Filamento, en	2,8E-04

Sistema de Matriz de Epoxi

Araldite MY 721	
Valor de Epoxi, equ./kg	8,6 - 9,1
Equivalente de Epoxi, g/equ.	109-
Viscosidad a 50 C, cPs	3000 - 6000
Densidad a 25 C lb/gal.	1,15 - 1,18
Endurecedor 99-023	
Viscosidad a 25 C, cPs	75 - 300
Densidad a 25 C, lb/gal	1,19 - 1,22
Acelerador DY 070	
Viscosidad a 25 C, cPs	< 50
Densidad a 25 C, lb/gal	0,95 - 1,05

20 Un cable reforzado de ACCC que tiene las especificaciones en lo que antecede se fabrica de acuerdo con lo  
 siguiente. El proceso utilizado para formar el cable compuesto en el presente ejemplo se ilustra en la figura 1. En  
 primer lugar, 126 bobinas de estopas de fibra de vidrio 12 y 8 bobinas de carbono se ajustan en un sistema de rejilla  
 14 y los extremos de las estopas de fibra individuales 12, que se guían desde las bobinas 11, se roscan a través de  
 25 una estopa de fibra guía 18. Las fibras experimentan halado tangencial para revenir las fibras retorcidas. Un aparato  
 de halado 16 en el extremo del aparato hala las fibras a través del aparato. Cada rejilla de distribución 14 tiene un  
 freno pequeño para ajustar individualmente la tensión para cada bobina. Las estopas 12 se halan a través de la guía  
 18 y en un horno de precalentamiento 20 a 65,55 °C par evacuar la humedad.

30 Las estopas 12 se halan en un tanque de humectación 22. El tanque de humectación 22 se llena con Araldite MY

- 721 / Endurecedor 99-023 / Acelerador DY070 para impregnar las estopas de fibra 12. El exceso de resina se retira de las estopas de fibra 12 durante la salida del tanque de humectación 22. Las estopas de fibra 12 se halan del tanque de humectación 2 a un horno de etapa B 24 y se calientan a 93,33 °C. Las estopas de fibra 12 se mantienen por separado por la guía 18, se halan en un segundo horno de etapa B 26 también a 93,33 °C que comprende una pluralidad de casquillos consecutivos para comprimir y configurar las estopas 12. En el segundo horno de etapa B 26, las estopas de fibra 12 se dirigen a través de una pluralidad de pasajes proporcionados por los casquillos. Los pasajes consecutivos se comprimen continuamente y configuran las estopas de fibra 12 en el miembro de núcleo compuesto uniforme final.
- El primer casquillo tiene dos filas de 32 pasajes, dos filas interiores de 31 pasajes cada uno de las dos filas más inferiores de 4 pasajes cada una. Las 126 estopas de fibra se halan a través de las dos filas exteriores de 32 y 31 pasajes, respectivamente. Las estopas de fibra de carbono se halan a través de las dos filas interiores de 4 pasajes cada una. El siguiente casquillo empalma las dos filas superiores a la mitad y la porción izquierda se hala a través del pasaje de esquina superior y exterior izquierdo en el segundo casquillo. La porción derecha se hala a través del pasaje de esquina superior y exterior derecho en el segundo casquillo. Las dos filas inferiores se empalman a la mitad y la porción derecha se hala a través de la esquina exterior derecha inferior del segundo casquillo y la porción izquierda se hala a través de la esquina exterior izquierda inferior del segundo casquillo. De manera similar, las dos fibras interiores de carbono se empalman a la mitad y las fibras de los dos pasajes superiores derechos se halan a través de la esquina derecha superior interior del segundo casquillo. Las fibras de los pasajes superiores izquierdos se halan a través de la esquina izquierda superior interior del segundo casquillo. Las fibras de los pasajes inferiores derechos se halan a través de la esquina derecha inferior interior del segundo casquillo y las fibras de los pasajes inferiores izquierdos se halan a través de la esquina izquierda inferior interior del segundo casquillo.
- Los manojos de fibras se halan a través de una serie de siete casquillos continuamente comprimiendo y configurando los manojos en un miembro de núcleo concéntrico uniforme hibridado.
- El miembro de núcleo compuesto se hala del segundo horno de etapa B 26 a un siguiente sistema de procesamiento de horno 28 a 165,55 a 187,77 °C en donde el miembro de núcleo compuesto se cura y se hala a un siguiente sistema de enfriamiento 30 a -1,11 a 37,77 °C para su enfriamiento. Después de enfriar, el núcleo compuesto se hala a un siguiente sistema de procesamiento 32 a 165,55 a 187,77 °C para post-curación. El mecanismo de halado hala el producto a través de un par de enfriamiento de 3,04 metros a aproximadamente 82,22 °C.
- Nueve filamentos de aluminio de forma trapezoidal, teniendo cada uno un área de aproximadamente 0,2258 cm<sup>2</sup> o aproximadamente 2,032 cm<sup>2</sup> de área total en el núcleo, se envuelven en torno al núcleo compuesto después de enfriamiento. Después trece filamentos de aluminio trapezoidal, teniendo cada filamento un área de aproximadamente 0,2593 o aproximadamente 3,37 cm<sup>2</sup> de área total en el núcleo, se envuelven en torno a la capa de aluminio interior.
- Se ha de entender que la invención no está limitada a los detalles exactos de la construcción, funcionamiento, materiales exactos o realizaciones que se muestran y se describen, debido a que a los expertos en la materia les resultarán evidentes modificaciones y equivalentes sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las siguientes cláusulas numeradas.
1. Un núcleo compuesto para un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende:
    - dos o más tipos de fibra reforzada substancialmente continua y orientada en sentido longitudinal en una matriz de resina termoestable, teniendo dicho núcleo al menos un 50 % de fracción de volumen de fibra y una capacidad operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 °C.
    2. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, en el que los tipos de fibra reforzada del núcleo compuesto se seleccionan del grupo que consiste en carbono, Kevlar, basalto, vidrio, aramida, boro, fibras de cristal líquido, polietileno de alto desempeño y nanofibras de carbono.
    3. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, que comprende una resina termoestable que tiene una aspereza de fractura de resina pura de al menos aproximadamente 0,87 INS-l/p.
    4. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, que comprende una resina termoestable que tiene una resistencia a la tracción al menos de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi.
    5. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, que comprende una resina termoestable que tiene la capacidad para soportar temperaturas operativas en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 °C.
    6. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, en el que un tipo de fibra reforzada comprende un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 22 a 37 Msi acoplado con un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente -0,7 a aproximadamente 0 m/m/C.

7. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, en el que al menos un tipo de fibra reforzada comprende un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente 7 Msi acoplado con un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente  $5 \times 10^{-6}$  a aproximadamente  $10 \times 10^{-6}$  m/m/C.
- 5
8. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, que comprende una fracción de volumen de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.
- 10
9. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, que comprende una proporción de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 62 a aproximadamente un 75 % en peso.
10. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, que comprende una capacidad de temperatura ambiente en el intervalo de aproximadamente -40 a aproximadamente 90 C.
- 15
11. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 1, en el que dicho núcleo compuesto comprende un núcleo concéntrico hibridado que tiene una capa de carbono / epoxi interior y una capa de fibra de vidrio / epoxi exterior.
- 20
12. Un núcleo compuesto para un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor aluminio que comprende:  
al menos un tipo de fibra reforzada orientada en sentido longitudinal y substancialmente continua en una matriz de resina termoestable, teniendo dicho núcleo al menos un 50 % de fracción de volumen de fibra, una capacidad operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C, un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 22 a 37 Msi, un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente -0,7 a aproximadamente 0 m/m/C y una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi.
- 25
13. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, en el que la fibra reforzada del núcleo compuesto se seleccionan del grupo que consiste en carbono, Kevlar, basalto, vidrio, aramida, boro, fibras de cristal líquido, polietileno de alto desempeño y nanofibras de carbono.
- 30
14. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, que comprende una resina termoestable que tiene una aspereza de fractura de resina pura de al menos aproximadamente 0,87 INS-l/p.
- 35
15. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, que comprende una resina termoestable que tiene una resistencia a la tracción al menos de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi.
- 40
16. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, que comprende una resina termoestable que tiene la capacidad para soportar temperaturas operativas en el intervalo de aproximadamente 40 a aproximadamente 90 C.
- 45
17. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, que comprende una fracción de volumen de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.
- 50
18. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, que comprende una proporción de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 62 a aproximadamente un 75 % en peso.
- 55
19. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, que comprende una capacidad de temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 170 a aproximadamente 220 C.
- 60
20. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, que comprende una capacidad de temperatura ambiente en el intervalo de aproximadamente -40 a aproximadamente 90 C.
21. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, en el que el núcleo comprende dos o más tipos de fibra reforzada orientada en sentido longitudinal y substancialmente continua en una matriz de resina termoestable.
- 65
22. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 12, en el que dicho núcleo compuesto comprende un núcleo concéntrico hibridado que tiene una capa de carbono / epoxi interior y una capa de fibra de vidrio / epoxi exterior.
23. Un núcleo compuesto para un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende:  
un núcleo interior que comprende un compuesto avanzado; y

un núcleo exterior que comprende un compuesto de bajo módulo.

- 5 24. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que dichas capas, interior y exterior, forman un núcleo hibridado concéntrico, uniforme.
25. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, que tiene una fracción de volumen de fibra total en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.
- 10 26. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, que tiene una proporción de fibra total / resina termoestable en el intervalo de aproximadamente un 62 a aproximadamente un 75 % en peso.
- 15 27. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que el núcleo comprende una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi, un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi, una temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
- 20 28. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que las características físicas de dicha capa exterior dan cabida al empalme.
29. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que dicho núcleo compuesto comprende un núcleo concéntrico hibridado que tiene una capa de carbono / epoxi interior y una capa de fibra de vidrio / epoxi exterior.
- 25 30. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que el núcleo comprende una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi.
- 30 31. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que el núcleo comprende un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi.
32. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que el núcleo comprende una temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C.
- 35 33. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 23, en el que el núcleo comprende un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
34. Un núcleo compuesto para un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende:
- 40 un núcleo interior que comprende un compuesto de carbono / epoxi; y
- un núcleo exterior que comprende un compuesto de fibra de vidrio / epoxi.
- 45 35. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que dichas capas, interior y exterior, forman un núcleo hibridado concéntrico, uniforme.
36. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que dichas capas, interior y exterior, forman un núcleo concéntrico segmentado.
- 50 37. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, que tiene una fracción de volumen de fibra total en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.
- 55 38. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, que tiene una proporción de fibra total / resina en el intervalo de aproximadamente un 62 a un 75 % en peso.
- 60 39. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que el núcleo comprende una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi, un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi, una temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
40. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que el núcleo comprende una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi.
- 65 41. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que el núcleo comprende un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi.

42. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que el núcleo comprende una temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C.
- 5 43. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que el núcleo comprende un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
44. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 34, en el que las características físicas de dicha capa exterior dan cabida al empalme.
- 10 45. Un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende:
- un núcleo compuesto que tiene al menos un tipo de fibra reforzada orientada en sentido longitudinal y substancialmente continua en una matriz de resina termoestable, teniendo dicho núcleo al menos un 50 % de fracción de volumen de fibra, una capacidad de temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C; una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi, un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C; y
- 15 al menos una capa de conductor de aluminio que rodea el núcleo compuesto.
- 20 46. Un cable tal como se expone en la cláusula 45, en el que al menos una capa de aluminio que rodea el núcleo compuesto comprende una pluralidad de segmentos de aluminio de forma trapezoidal envueltos en torno al núcleo.
- 25 47. Un cable tal como se expone en la cláusula 45, en el que una segunda capa de una pluralidad de segmentos de aluminio de forma trapezoidal se envuelve en torno al núcleo.
48. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 45, en el que el núcleo compuesto comprende dos o más tipos de fibra reforzada orientada en sentido longitudinal y substancialmente continua.
- 30 49. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 45, en el que el núcleo compuesto permite el empalme.
50. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 45, que comprende una fracción de volumen de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.
- 35 51. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 45, que comprende una proporción de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 62 a aproximadamente un 75 % en peso.
- 40 52. Un cable de la cláusula 45, en el que los tipos de fibra del núcleo compuesto se seleccionan del grupo que consiste en carbono, Kevlar, basalto, vidrio, aramida, boro, fibras de cristal líquido, polietileno de alto desempeño y nanofibras de carbono.
- 45 53. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 45, en el que dicho núcleo compuesto comprende un núcleo concéntrico que tiene una capa de carbono / epoxi interior y una capa de fibra de vidrio / epoxi exterior.
53. Un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende:
- un núcleo compuesto que tiene dos o más tipos de fibra reforzada orientada en sentido longitudinal y substancialmente continua en una matriz de resina termoestable, teniendo dicho núcleo al menos un 50 % de fracción de volumen de fibra y una capacidad operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C; y
- 50 al menos una capa de conductor de aluminio que rodea el núcleo compuesto.
- 55 54. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 53, que tiene una resistencia a la tracción al menos de aproximadamente 160 a 240 Ksi.
55. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 53, que tiene un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a 30 Msi.
- 60 56. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 53, que tiene un intervalo de coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente 0 a  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
- 65 57. Un cable tal como se expone en la cláusula 53, en el que dicha al menos una capa de aluminio que rodea el núcleo compuesto comprende una pluralidad de segmentos de aluminio de forma trapezoidal envueltos en torno al núcleo.

## ES 2 617 051 T3

58. Un cable tal como se expone en la cláusula 53, en el que una segunda capa de una pluralidad de segmentos de aluminio de forma trapezoidal se envuelve en torno al núcleo.
59. Un cable tal como se expone en la cláusula 53, en el que el núcleo compuesto permite el empalme.
60. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 53, que comprende una fracción de volumen de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 50 a un 57 %.
61. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 53, que comprende una proporción de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 62 a un 75 % en peso.
62. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 53, en el que las fibras del núcleo compuesto se seleccionan del grupo que consiste en carbono, Kevlar, basalto, vidrio, aramida, boro, fibras de cristal líquido, polietileno de alto desempeño y nanofibras de carbono.
63. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 53, en el que dicho núcleo compuesto comprende un núcleo concéntrico hibridado que tiene una capa de carbono / epoxi interior y una capa de fibra de vidrio / epoxi exterior.
64. Un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende:
- un núcleo interior de carbono / epoxi;
  - un núcleo exterior de fibra de vidrio / epoxi; y
  - al menos una capa de conductor de aluminio que rodea el núcleo compuesto.
65. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 64, en el que dicho núcleo interior comprende una resistencia a la tracción al menos aproximadamente 370 Ksi, un módulo de tracción de al menos 20 Msi y deformación de tracción al menos de aproximadamente 1,7 %.
66. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 64, en el que dicho núcleo exterior comprende una resistencia a la tracción de al menos 298,103 psi y un módulo de tracción de al menos  $11,2 \times 10^6$  psi.
67. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 64, en el que dicho núcleo exterior y dicho núcleo inferior forman un núcleo hibridado concéntrico uniforme.
68. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 64, en el que dicho núcleo exterior y dicho núcleo interior forman un núcleo concéntrico segmentado.
69. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 64, en el que dicho núcleo exterior y dicho núcleo interior tienen una fracción de volumen de fibra total en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.
70. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 64, en el que dicho núcleo exterior y dicho núcleo interior tienen una proporción de total de fibra / resina en el intervalo de un 62 a un 75 % en peso.
71. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 64, en el que dicho núcleo comprende una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a 240 Ksi, módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a 30 Msi, temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
72. Un método para proporcionar energía eléctrica utilizando un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende las etapas de:
- utilizar un cable que tiene un núcleo compuesto que comprende al menos un tipo de fibra reforzada orientada en sentido longitudinal y substancialmente continua en una matriz de resina termoestable, teniendo dicho núcleo al menos un 50 % en fracción de volumen de fibra y una capacidad operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C rodeado por al menos una capa de conductor de aluminio que rodea el núcleo compuesto; y
  - transmitir energía a través del cable compuesto.
73. Un método tal como se expone en la cláusula 72, en el que dicho cable sustituye al menos una porción del cable existente.

74. Un método tal como se expone en la cláusula 72, en el que el núcleo compuesto comprende una proporción de fibra / resina en el intervalo de aproximadamente un 62 a aproximadamente un 75 % en peso.
- 5 75. Un método tal como se expone en la cláusula 72, en el que dicho cable comprende resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a 240 Ksi, módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a 30 Msi, temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
- 10 76. Un método tal como se expone en la cláusula 72, en el que dicho cable comprende un intervalo de temperatura ambiente de entre -40C a aproximadamente 90 C.
77. Método para procesar un núcleo compuesto que comprende las etapas de:
- 15 proporcionar un número previamente determinado de estopas de fibra;
- guiar las estopas de fibra a través de un tanque de humectación lleno con resina;
- 20 utilizar un horno de etapa B y una pluralidad de casquillos separados para formar y comprimir dichas estopas de fibra; y
- curar el miembro de núcleo compuesto.
- 25 78. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que dicha guía es una placa que tiene una pluralidad de pasajes en donde la orientación de pasajes se determina por la configuración de sección transversal deseada del núcleo compuesto.
- 30 79. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que el número y tipo de estopas de fibra se determina para satisfacer las características físicas en el núcleo compuesto final, incluyendo una resistencia a la tracción en el intervalo de 160 a 240 Ksi, un módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi, una temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.
- 35 80. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que la etapa de guiar las estopas de fibra a través de un tanque de humectación lleno con resina comprende además una etapa de precalentamiento antes de la humectación para evaporar la humedad en las estopas de fibra.
- 40 81. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que el tanque de humectación lleno con resina comprende un dispositivo para ayudar en la humectación de las fibras.
- 45 82. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que el tanque de humectación lleno con resina comprende una serie de escobillas limpiadoras para retirar el exceso de resina de las fibras.
- 50 83. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que la etapa de formar y comprimir las estopas de fibra comprende además:
- guiar las estopas de fibra en un primer horno de temperatura de etapa B;
- 55 guiar las estopas de fibra en un segundo horno de temperatura de etapa B que comprende una serie de casquillos en donde cada casquillo en la serie comprende una pluralidad de pasajes;
- guiar las estopas de fibra a través de la serie consecutiva de casquillos y pasajes; y
- 60 utilizar los casquillos para formar el núcleo compuesto.
84. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que el tamaño de al menos una porción del pasaje disminuye con los casquillos consecutivos.
- 65 85. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que al menos una porción de la posición de los pasajes cambia con casquillos consecutivos.
86. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que el primer horno de temperatura de etapa B se encuentra en el intervalo de aproximadamente 93,3 a aproximadamente 121,11 C.
87. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que el primer horno de temperatura de etapa B se encuentra en el intervalo de aproximadamente 93,3 a aproximadamente 121,11 C.

88. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que la etapa de curación del núcleo compuesto comprende:

5 guiar el núcleo compuesto del segundo horno de temperatura de etapa B a un horno de curación en donde la temperatura del horno de curación se encuentra en el intervalo de aproximadamente 330 a aproximadamente 370 F;

10 guiar el núcleo compuesto del horno de curación a una zona de enfriamiento en donde la zona de enfriamiento está en el intervalo de aproximadamente -1,11 a aproximadamente 37,77 C;

guiar el núcleo compuesto de la zona de enfriamiento a un horno de post-curación en donde la temperatura del horno de post-curación está en el intervalo de aproximadamente 165,55 a aproximadamente 187,77 C; y

15 guiar el núcleo compuesto del horno de post-curación a través de una zona de enfriamiento en donde el núcleo se enfría por aire en el intervalo de aproximadamente 76,66 a aproximadamente 82,22 C.

89. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que las fibras del núcleo compuesto se seleccionan del grupo que consiste en carbono, Kevlar, basalto, vidrio, aramida, boro, fibras de cristal líquido, polietileno de alto desempeño y nanofibras de carbono.

20 90. Un método tal como se expone en la cláusula 77, en el que el método de procesamiento comprende velocidades de procesamiento en el intervalo de aproximadamente 2,7 m/min a aproximadamente 15,20 m/min.

25 91. Un método para mejorar la eficiencia de un sistema de distribución de energía eléctrica que comprende las etapas de:

30 formar un cable reforzado de núcleo compuesto conductor de aluminio que comprende un núcleo de compuesto que tiene al menos un tipo de fibra reforzada orientada en sentido longitudinal y substancialmente continua en una matriz de resina termoestable, teniendo dicho núcleo al menos un 50 % de fracción de volumen de fibra y una capacidad operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C rodado por al menos una capa de conductor de aluminio; y

sustituir al menos una porción de líneas de distribución existentes con dicho cable.

35 92. Un método tal como se expone en la cláusula 91, en el que dicho núcleo compuesto comprende una proporción de fibra / resina en el intervalo de un 62 a un 75 % en peso.

40 93. Un método tal como se expone en la cláusula 91, en el que dicho núcleo compuesto comprende una fracción de volumen de fibra en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.

94. Un método tal como se expone en la cláusula 91, en el que dicho núcleo compuesto comprende un núcleo concéntrico hibridado que tiene una capa de carbono / epoxi interior y una capa de fibra de vidrio / epoxi exterior.

45 95. Un núcleo compuesto para un cable reforzado de núcleo compuesto de conductor de aluminio que comprende:

un núcleo interior segmentado que comprende compuesto avanzado; y

50 un núcleo exterior segmentado que comprende compuesto de bajo módulo.

96. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 95, en el que la fracción de fibra total está en el intervalo de aproximadamente un 50 a aproximadamente un 57 %.

55 97. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 95, en el que la proporción de fibra / resina está en el intervalo de aproximadamente un 62 a un 75 % en peso.

60 98. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 95, en el que el núcleo comprende una resistencia a la tracción en el intervalo de aproximadamente 160 a aproximadamente 240 Ksi, módulo de elasticidad en el intervalo de aproximadamente 7 a aproximadamente 30 Msi, temperatura operativa en el intervalo de aproximadamente 90 a aproximadamente 230 C y un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente  $6 \times 10^{-6}$  m/m/C.

65 99. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 95, en el que las características físicas de dicha capa exterior dan cabida al empalme.

100. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 95, en el que los segmentos se forman por

separado.

5 101. Un núcleo compuesto tal como se expone en la cláusula 95, en el que dicho núcleo compuesto comprende un núcleo concéntrico segmentado que tiene una capa de carbono / epoxi interior y una capa de fibra de vidrio / epoxi exterior.

**REIVINDICACIONES**

1. Un núcleo compuesto reforzado con fibras configurado para su uso en un cable de distribución y transmisión eléctrica, en el que el núcleo compuesto comprende:
- 5 una pluralidad de fibras de carbono de refuerzo que son de una longitud sustancialmente continua y que están incrustadas en una resina para formar una capa interior; y una capa aislante no conductora que comprende una pluralidad de fibras de vidrio que rodean y que aíslan la capa interior, en el que el núcleo compuesto está configurado para su uso como un miembro de refuerzo en un cable de distribución y transmisión eléctrica.
- 10 2. Un núcleo compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que las fibras de carbono tienen un módulo de elasticidad de al menos 151,6 GPa y no más de 255,0 GPa.
- 15 3. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que las fibras de carbono tienen una resistencia a la tracción de al menos 2413 MPa y no más de 5169 MPa.
4. Un núcleo compuesto de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que las fibras de vidrio tienen una resistencia a la tracción de al menos 1241 MPa y no más de 1516 MPa.
- 20 5. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, caracterizado por que las fibras de vidrio comprenden fibras de vidrio que son de una longitud sustancialmente continua.
6. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, caracterizado por que las fibras de vidrio están incrustadas en la resina.
- 25 7. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, caracterizado por que el núcleo compuesto tiene una resistencia a la tracción de al menos 1103 MPa y no más de 1654 MPa.
- 30 8. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, caracterizado por que el núcleo compuesto tiene un módulo de elasticidad dentro del intervalo de 48,2 GPa a 206,8 GPa.
9. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, caracterizado por que el núcleo compuesto tiene un coeficiente de dilatación térmica en el intervalo de  $0 \times 10^{-6}$  a  $6 \times 10^{-6}$  m/m/°C.
- 35 10. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, caracterizado por que la resina comprende una resina epoxi termoestable.
11. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-10, caracterizado por que las fibras de carbono de refuerzo sustancialmente continuas comprenden una pluralidad de estopas de fibra de carbono de refuerzo.
- 40 12. Un núcleo compuesto de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que la pluralidad de estopas de fibra de carbono de refuerzo se compactan para formar la capa interior de fibras de carbono de refuerzo.
- 45 13. Un núcleo compuesto de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que la capa aislante no conductora comprende una pluralidad de estopas de fibra de vidrio que son de una longitud sustancialmente continua.
14. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-13, caracterizado por que el núcleo compuesto tiene una longitud de al menos 1829 metros.
- 50 15. Un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-14, caracterizado por que el núcleo compuesto está envuelto en torno a una rueda.
- 55 16. Un cable de transmisión y distribución eléctrica, en el que el cable comprende:
- un núcleo compuesto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-15; y al menos una capa de un conductor de aluminio que rodea el núcleo compuesto, en el que la capa aislante no conductora está dispuesta entre las fibras de carbono y la al menos una capa de conductor para aislar las fibras de carbono con respecto al conductor.
- 60 17. Un cable eléctrico de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado por que la al menos una capa de conductor comprende una pluralidad de filamentos de conductor de aluminio de forma trapezoidal que se envuelven de forma helicoidal en torno al miembro de refuerzo de núcleo compuesto.
- 65

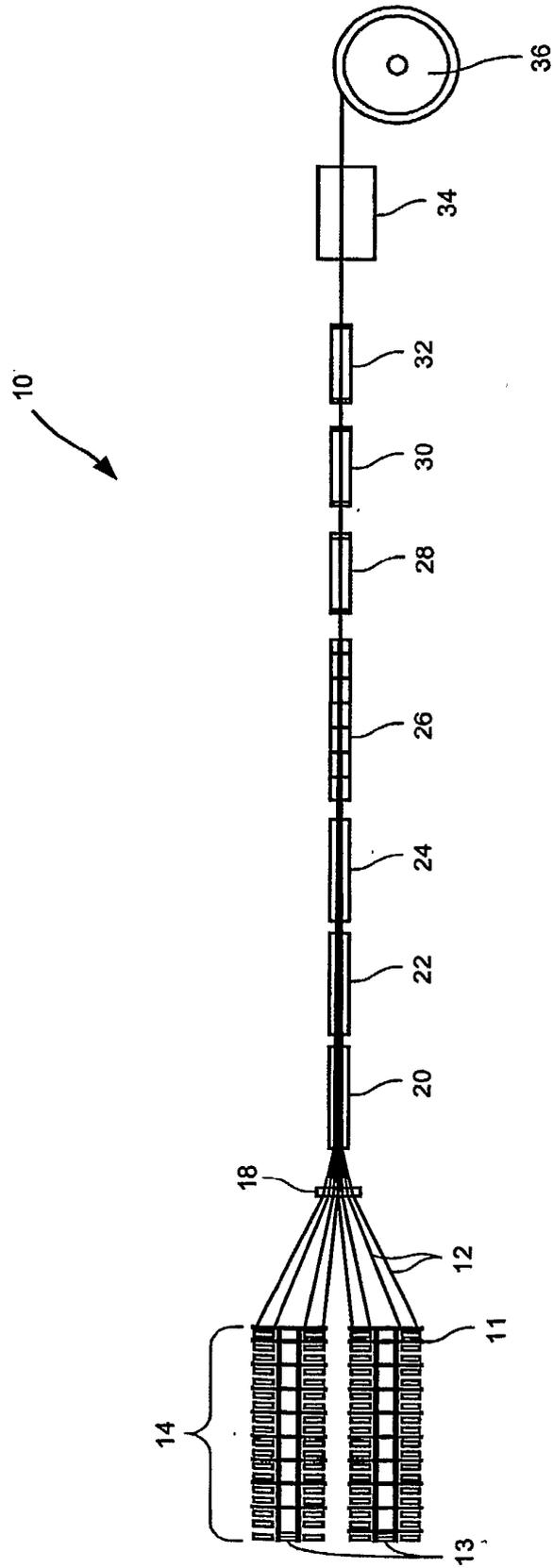


FIG. 1

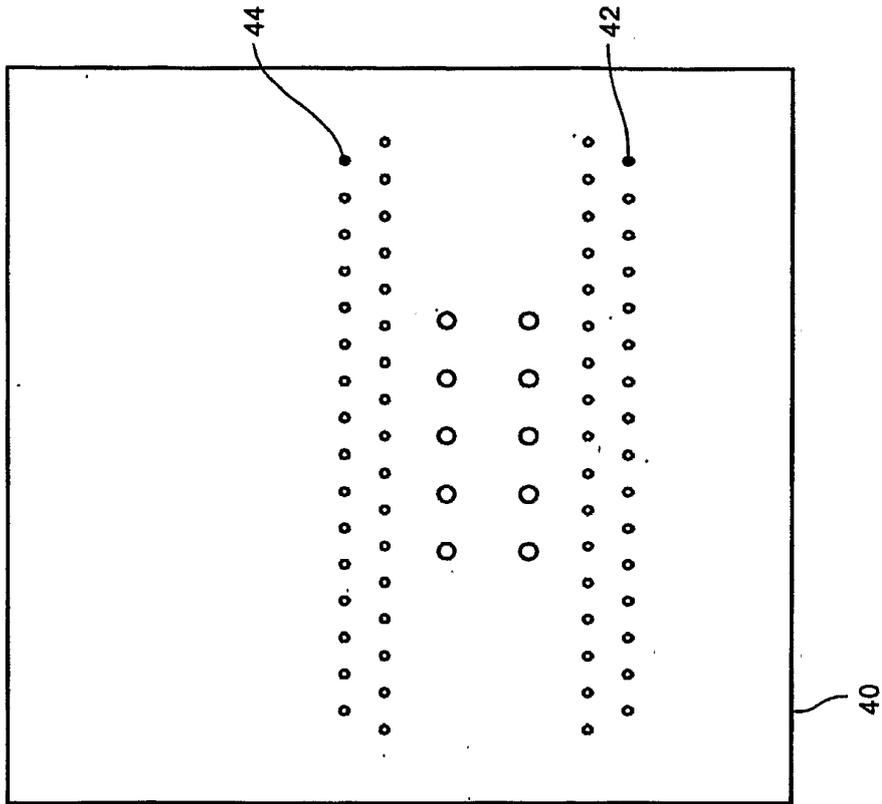


FIG. 2

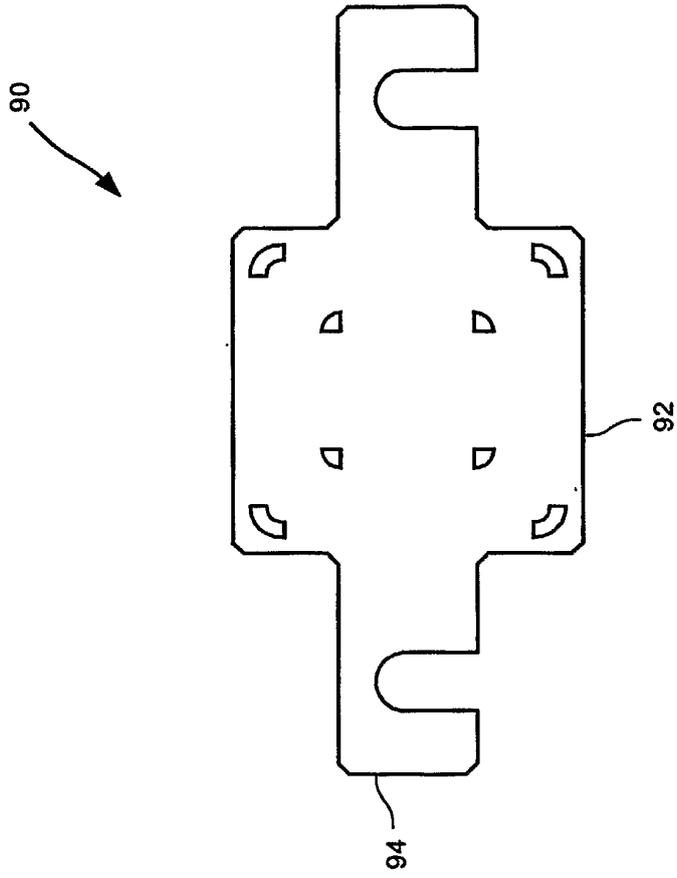


FIG. 3

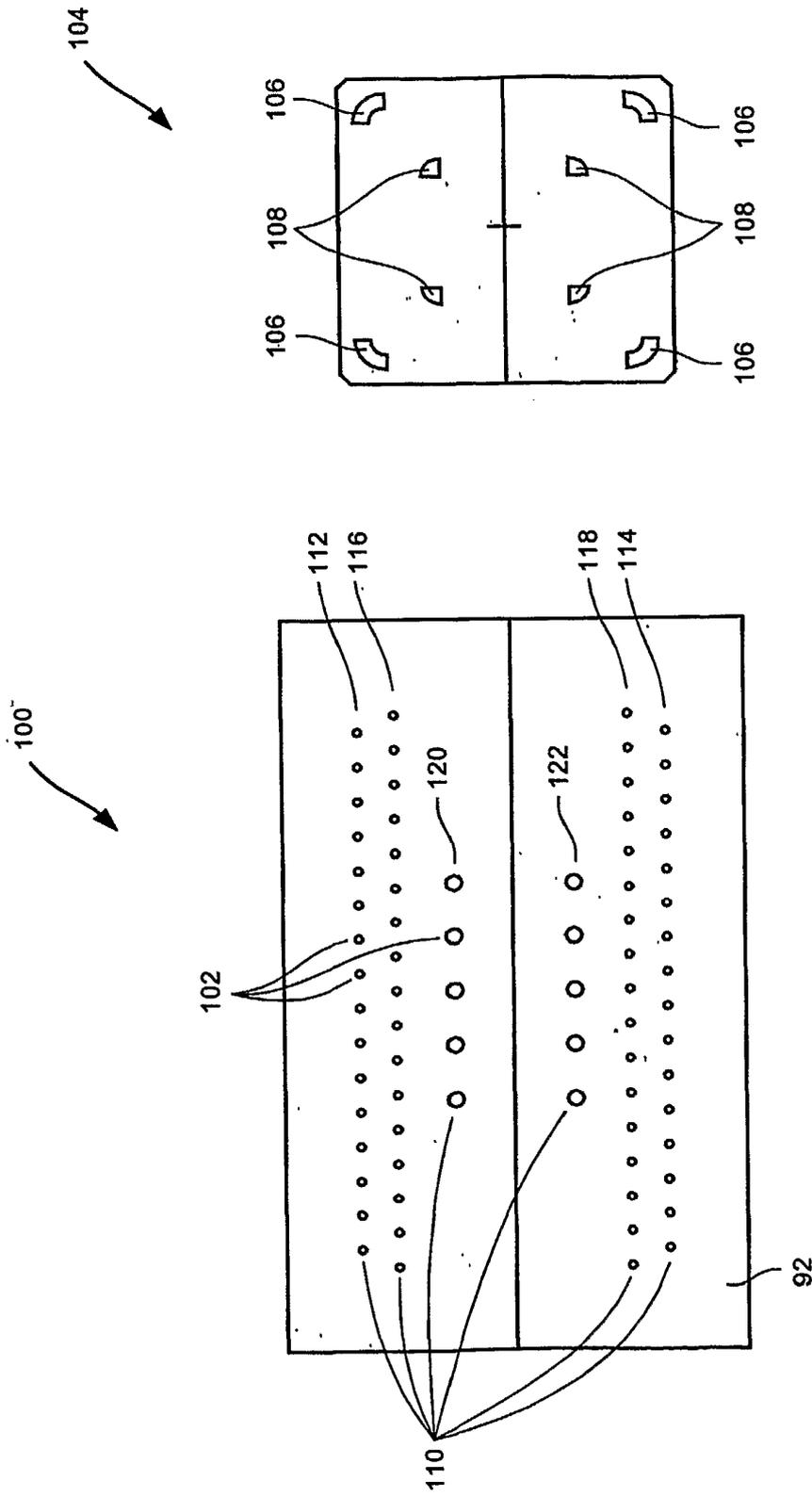


FIG. 4

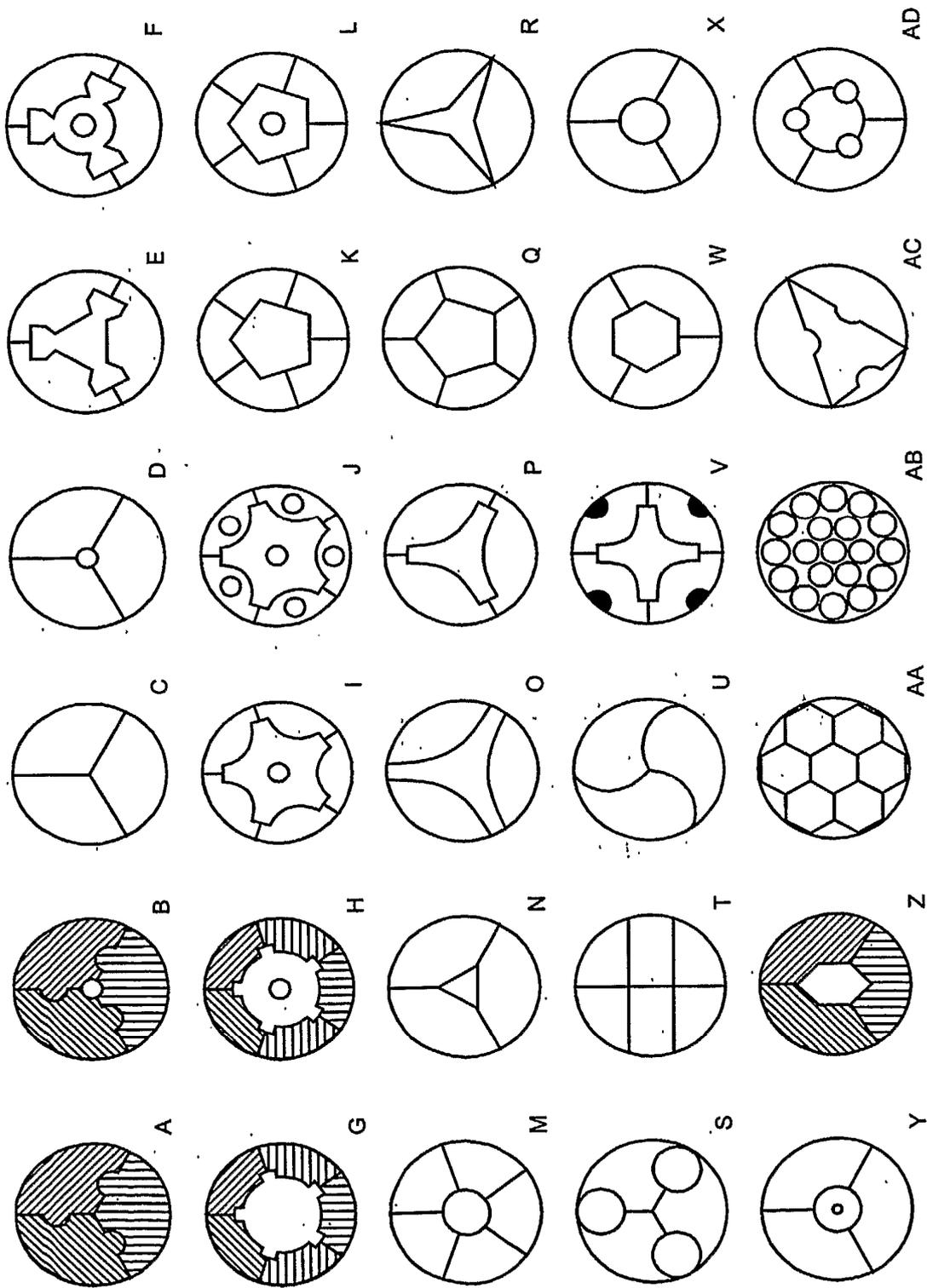


FIG. 5

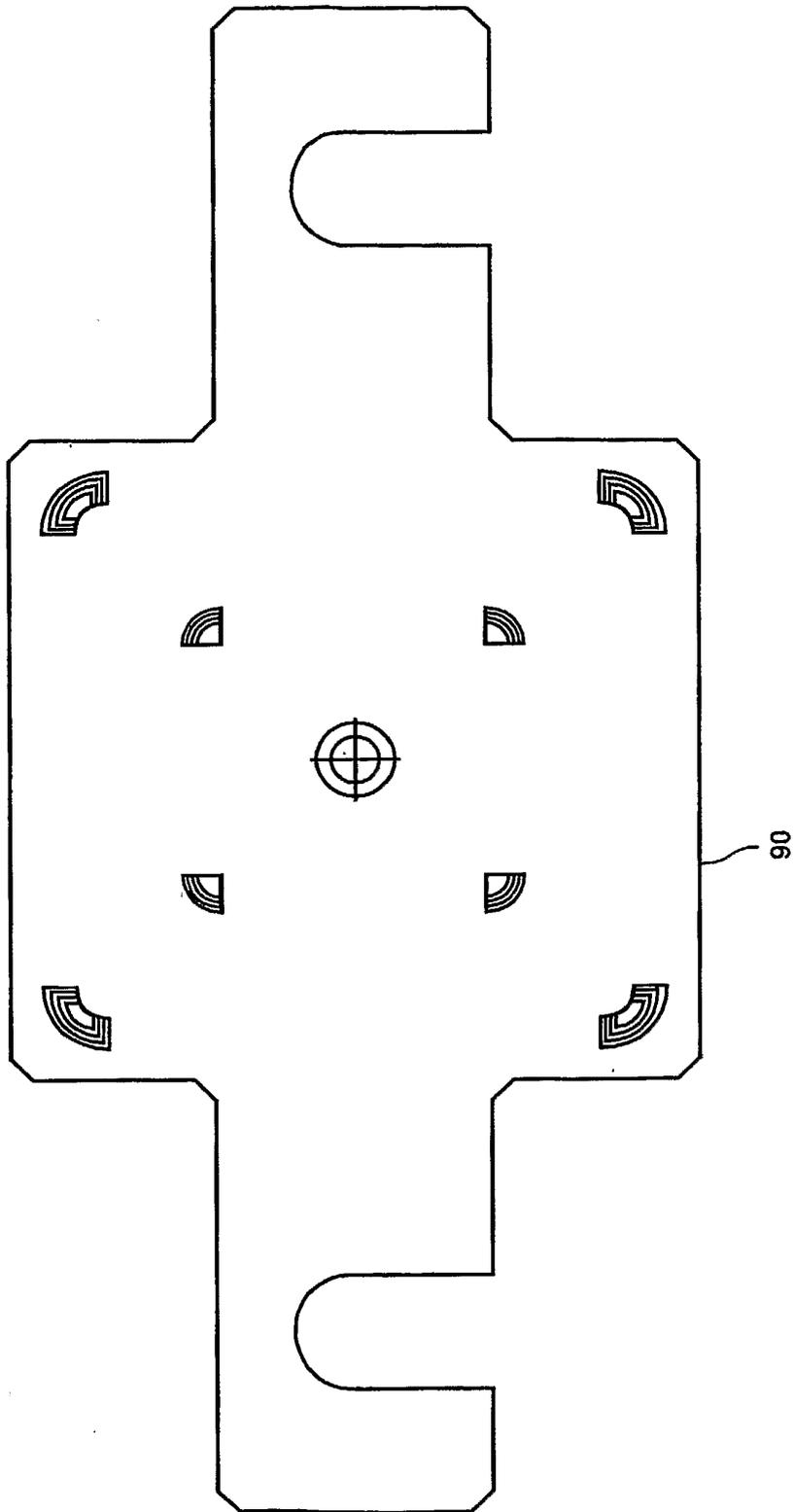


FIG. 6

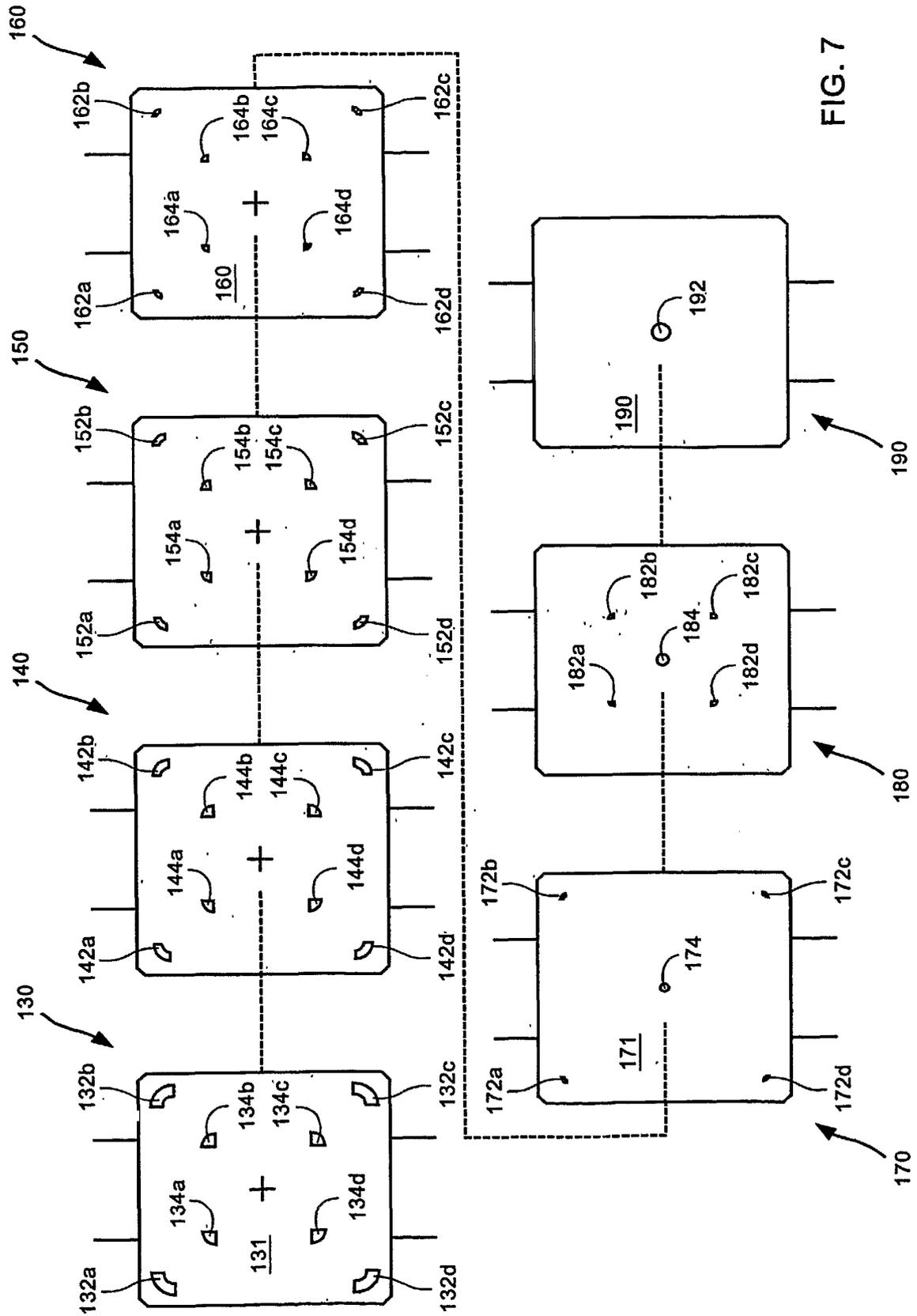


FIG. 7

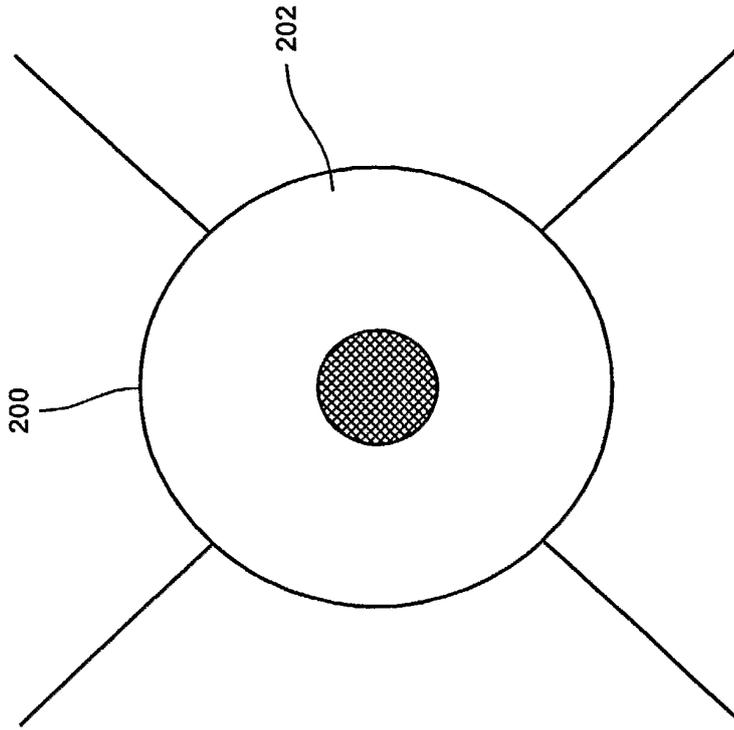


FIG. 8

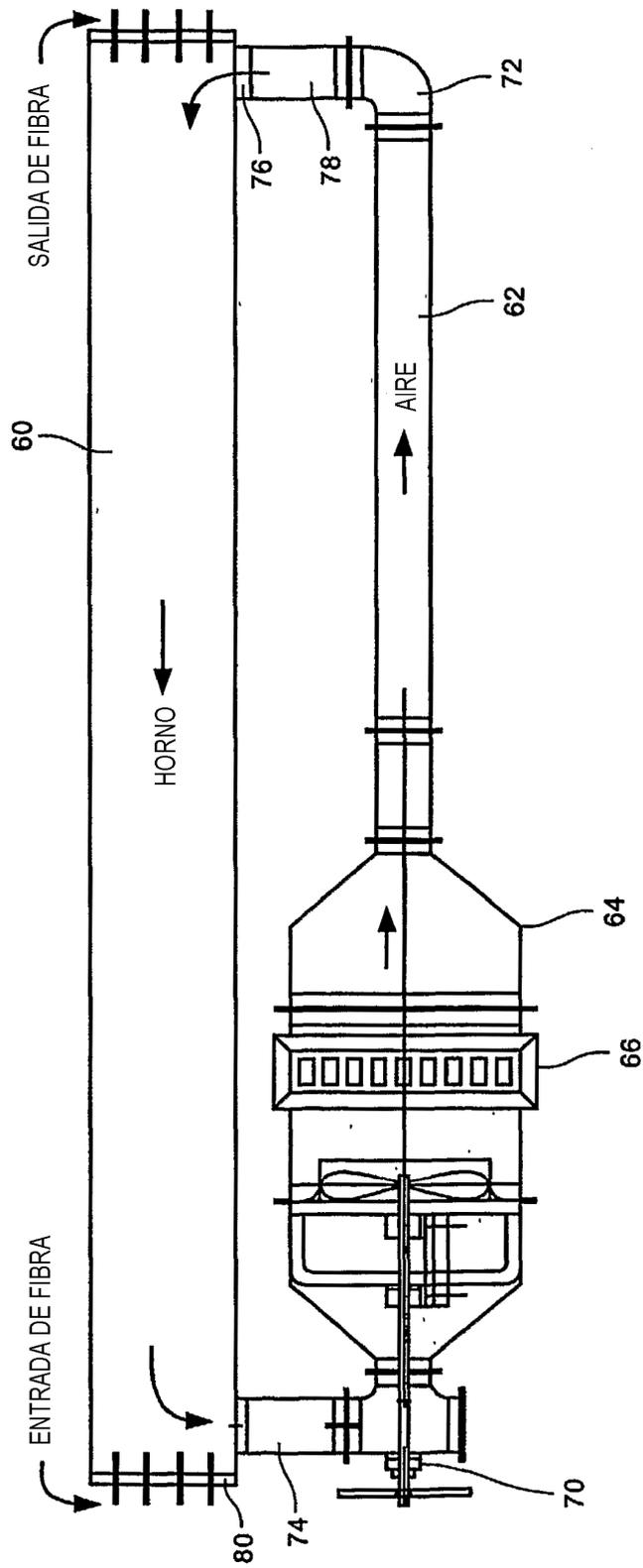


FIG. 9

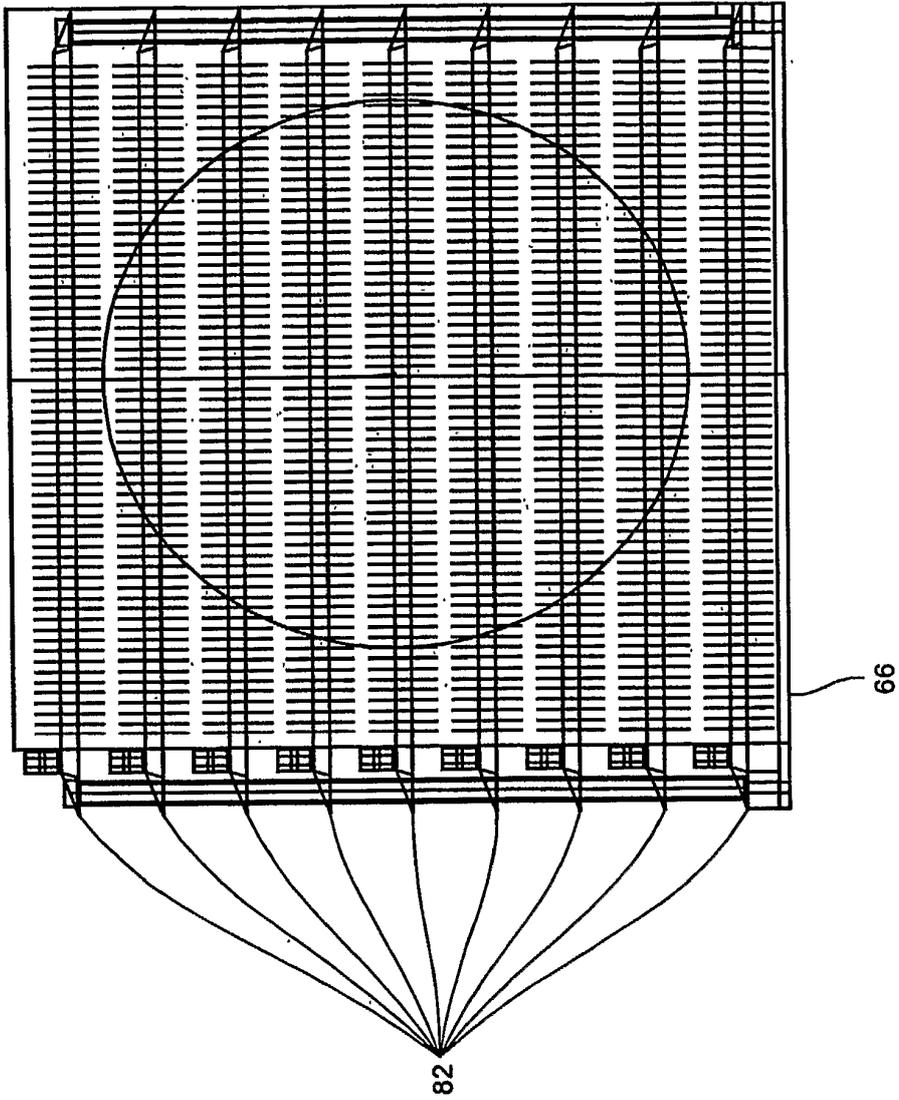


FIG. 10

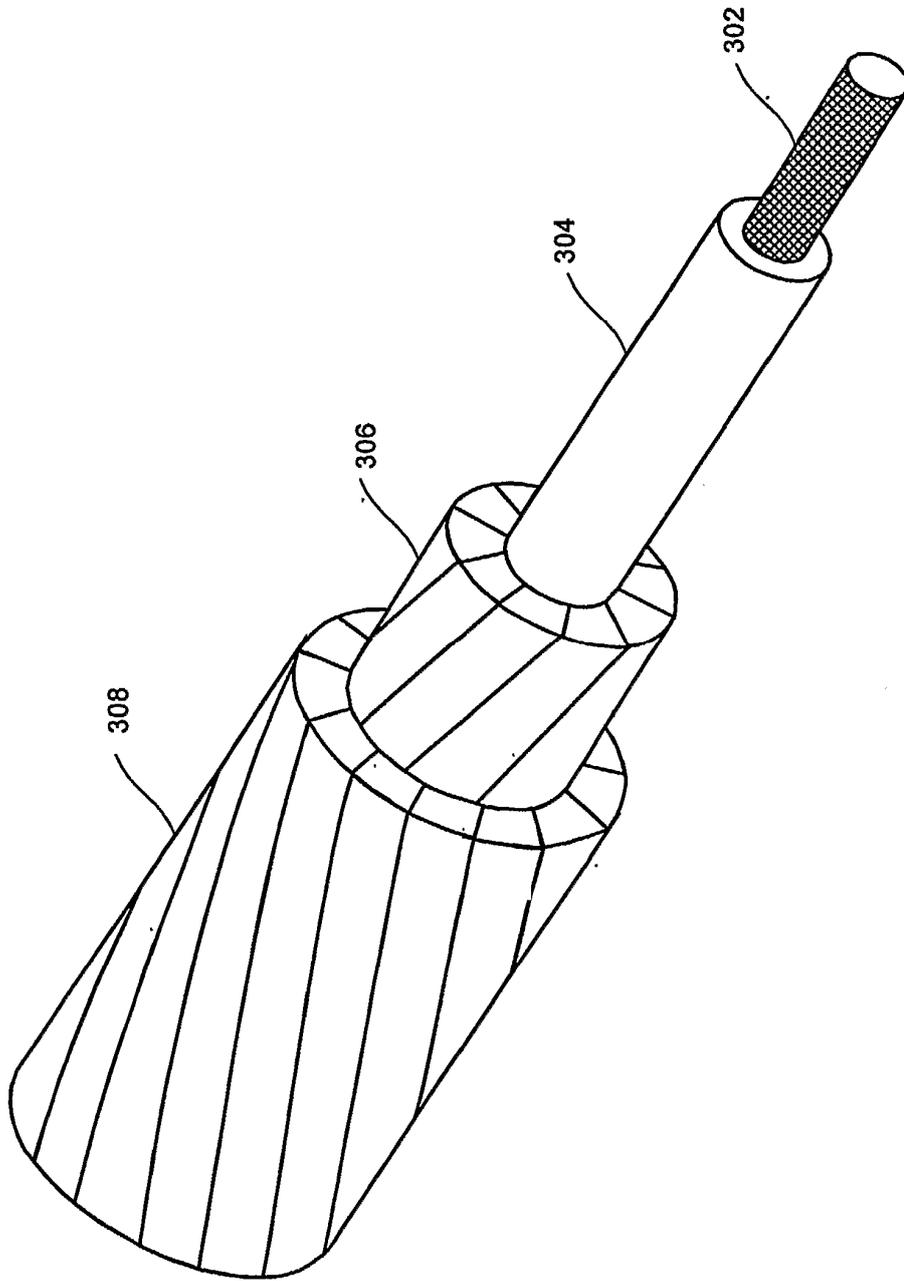


FIG. 11