

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 024 887**

51 Int. Cl.:

G01M 11/08 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

H01B 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2019** E 23179560 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2025** EP 4273892

54 Título: **Sistemas, métodos y herramientas para la interrogación de miembros de resistencia compuestos**

30 Prioridad:

27.02.2018 US 201862635626 P

28.12.2018 US 201862786271 P

19.02.2019 US 201962807298 P

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

05.06.2025

73 Titular/es:

CTC GLOBAL CORPORATION (100.00%)

2026 McGaw Avenue

Irvine, CA 92614, US

72 Inventor/es:

DONG, XIAOYUAN;

WEBB, WILLIAM;

WONG, CHRISTOPHER y

PILLING, IAN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 3 024 887 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

Sistemas, métodos y herramientas para la interrogación de miembros de resistencia compuestos

5 Campo de la invención

La presente descripción se refiere al campo de los miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra, y particularmente al campo de las pruebas de integridad estructural de dichos miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra.

10 Antecedentes de la invención

Los miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra son beneficiosos para su uso en una variedad de aplicaciones estructurales debido a su relación relativamente alta de resistencia a peso y otras propiedades deseables. Por ejemplo, muchos miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra alargados se utilizan como miembros de tracción en estructuras tales como puentes y alambres mensajeros ferroviarios, reemplazando materiales utilizados anteriormente como el acero.

20 Una de esas aplicaciones de los miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra que ha surgido recientemente es su uso en cables eléctricos aéreos desnudos para la transmisión y distribución de electricidad. Dichos cables eléctricos típicamente incluyen una pluralidad de hebras metálicas conductoras que están envueltas y soportadas por un miembro de resistencia central. Tradicionalmente, el miembro de resistencia se fabricaba en acero. En los últimos años, se han utilizado materiales compuestos reforzados con fibra para el miembro de resistencia. Dichos materiales compuestos ofrecen beneficios significativos en comparación con el acero, que incluyen un peso más ligero, un tamaño más pequeño (lo que permite el uso de una mayor sección transversal del conductor), un menor pandeo térmico y muchas otras ventajas. Un ejemplo de un cable eléctrico aéreo que tiene dicho miembro de resistencia reforzado con fibra es el cable eléctrico aéreo desnudo ACCC® disponible en CTC Global Corporation de Irvine, CA, EE. UU. Véase, por ejemplo, la patente estadounidense No. 7,368,162 por Hiel et al.

30 A diferencia de la mayoría de los materiales metálicos, los materiales compuestos reforzados con fibra suelen tener una baja ductilidad. Como resultado, puede surgir la preocupación de que el miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra se haya comprometido estructuralmente (por ejemplo, fracturado) durante la producción, manipulación y/o instalación del miembro de resistencia y/o el cable eléctrico. Las fracturas pequeñas en el miembro de resistencia pueden ser difíciles de detectar por métodos convencionales. Esto es particularmente cierto para los cables eléctricos aéreos debido a la longitud extrema del cable eléctrico aéreo y al hecho de que el miembro de resistencia no es visible después de que los hilos conductores se hayan envuelto alrededor del miembro de resistencia.

40 Se han sugerido métodos y sistemas para monitorear las condiciones de un miembro de resistencia reforzado con fibra durante el uso del miembro de resistencia. Por ejemplo, se ha sugerido que la temperatura y la tensión en un miembro de resistencia en un cable eléctrico aéreo se pueden monitorear durante el uso utilizando técnicas complejas como la reflectometría óptica en el dominio del tiempo (OTDR). Sin embargo, dichos sistemas y métodos requieren equipos complejos, requieren el uso de una fuente de luz coherente (por ejemplo, un láser) y requieren una alineación precisa de la fuente de luz coherente con fibras ópticas unidas al miembro de resistencia; todos son difíciles de implementar en el campo, por ejemplo, en el entorno exterior a través del cual se construyen las líneas de transmisión y distribución eléctrica. EP 0 203 249 A2 se refiere a un cable de alimentación para tensiones de 6 a 60 kV que incorpora conductores de luz y una cubierta protectora reforzada con fibra. Los emisores y detectores se pueden conectar en los extremos de los conductores de luz. Documento con ISSN: 0010-4361, DOI: 10.1016/0010-4361 (87) 90294-1, se refiere a la detección de daños de fibra óptica en estructuras compuestas. US 2009/0230578 A1 se refiere a un método para la producción de bandas ópticas con varias fibras ópticas paralelas.

55 Breve descripción de la invención

La invención se define mediante las reivindicaciones independientes adjuntas. Las características opcionales se establecen en las reivindicaciones dependientes adjuntas. En la presente se describen sistemas, métodos, componentes y herramientas que permiten la interrogación de miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra para determinar si los miembros de resistencia compuestos están estructuralmente intactos, por ejemplo, para detectar la presencia de defectos tales como fracturas en el miembro de resistencia. Los sistemas, métodos, componentes y herramientas permiten la interrogación relativamente simple y de bajo costo de los miembros de resistencia, en el proceso de fabricación, durante la instalación y/o después de la instalación de los miembros de resistencia.

65 Los sistemas, métodos, componentes y herramientas descritos en la presente incluyen, de modo no limitativo:

(i) un sistema para la detección de un defecto en un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra;

5 (ii) un método para la detección de un defecto en un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra;

(iii) un método para la preparación de un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra para la interrogación utilizando una fuente de luz;

10 (iv) un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado que incluye una fibra óptica;

(v) un dispositivo para la transmisión de luz en un extremo de una fibra óptica que está incrustada en un miembro estructural alargado;

15 (vi) un dispositivo para la detección de luz que emana de un extremo de una fibra óptica que está incrustada en un miembro estructural alargado;

20 (vii) una herramienta para cortar y pulir; y

(viii) un método para la fabricación de un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado que está configurado para su uso en un miembro de resistencia a la tracción.

25 Por lo tanto, en una realización, se describe un sistema configurado para la detección de un defecto en un cable eléctrico aéreo de acuerdo con la reivindicación 1 adjunta.

El sistema anterior puede caracterizarse por tener mejoras de características y/o características adicionales, que pueden implementarse solas o en cualquier combinación. En una caracterización, la fuente de luz está configurada para emitir luz que tiene una longitud de onda primaria en la región infrarroja. En un refinamiento, la fuente de luz está configurada para emitir luz que tiene una longitud de onda primaria de al menos alrededor de 800 nm. En otro refinamiento, la fuente de luz está configurada para emitir luz que tiene una longitud de onda primaria de no más de alrededor de 1000 nm.

35 En otra caracterización, el elemento de resistencia incluye al menos una segunda fibra óptica incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del compuesto reforzado con fibra. En un refinamiento, el elemento de resistencia incluye al menos una tercera fibra óptica incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del compuesto reforzado con fibra. En otro refinamiento, el elemento de resistencia incluye al menos una cuarta fibra óptica incrustada en un compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del compuesto reforzado con fibra.

40 En otra caracterización, el cable eléctrico tiene una longitud de al menos alrededor de 100 metros. En otra caracterización más, el cable eléctrico tiene una longitud de no más de alrededor de 3500 metros. De acuerdo con la invención, un conductor eléctrico está dispuesto alrededor y soportado por el miembro de resistencia para formar el cable eléctrico.

45 En otra caracterización, la primera fibra óptica es una fibra óptica monomodo. En otra caracterización, la fuente de luz comprende un diodo emisor de luz (LED). En otra caracterización, el dispositivo de detección de luz comprende una lente cóncava que está dispuesta entre el extremo del miembro de refuerzo compuesto y el sensor de luz y está configurada para enfocar la luz transmitida sobre el sensor de luz. En otro refinamiento, el sensor de luz se selecciona de un sensor CCD y un sensor CMOS.

50 En otra realización, se describe un método para la interrogación de un cable eléctrico aéreo de acuerdo con la reivindicación 15 adjunta.

55 El método anterior puede caracterizarse por tener refinamientos y/o pasos de método adicionales, que pueden implementarse solos o en cualquier combinación. En una caracterización, la luz transmitida tiene una longitud de onda en la región infrarroja. En un refinamiento, la luz transmitida tiene una longitud de onda primaria de al menos alrededor de 800 nm. En otro refinamiento, la luz transmitida tiene una longitud de onda primaria de no más de alrededor de 1000 nm. En otra caracterización, el primer elemento de resistencia incluye al menos una segunda fibra óptica incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del compuesto reforzado con fibra, y el paso de transmisión de la luz transmite la luz a través de la segunda fibra óptica. En otro refinamiento, el elemento de resistencia incluye al menos una tercera fibra óptica incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del compuesto reforzado con fibra, y el paso de transmisión de la luz transmite la luz a través de la tercera fibra óptica. En otro refinamiento, el elemento de resistencia incluye al menos una cuarta fibra óptica incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del compuesto reforzado con fibra, y el paso de transmitir la luz transmite la luz a

través de la cuarta fibra óptica.

En otra caracterización, el miembro de resistencia compuesto tiene una longitud de al menos alrededor de 500 metros. En otro refinamiento, el miembro de resistencia compuesto tiene una longitud de al menos alrededor de 3500 metros. En otra caracterización, el miembro de resistencia compuesto tiene una longitud de no más de alrededor de 7500 metros. En otra caracterización, durante los pasos de transmisión de la luz y detección de la luz, el miembro de resistencia compuesto se envuelve en un carrete. En otra caracterización, el método comprende el paso de prueba de tensión del elemento de resistencia compuesto antes de los pasos de transmisión y detección de luz.

De acuerdo con la invención, un conductor eléctrico está trenzado alrededor del miembro de resistencia compuesto para formar el cable eléctrico aéreo. En un refinamiento, los pasos de transmisión y detección de la luz se realizan después de trenzado del miembro de resistencia compuesto con el conductor eléctrico y antes de la instalación del cable eléctrico aéreo en las torres de soporte. En otro refinamiento, los pasos de transmisión y detección de la luz se realizan después de la instalación del cable eléctrico aéreo en las torres de soporte.

En otra caracterización, la fibra óptica es una fibra óptica monomodo. En otra caracterización, el paso de transmisión de luz comprende energizar un diodo emisor de luz (LED). En un perfeccionamiento, el paso de transmitir luz comprende girar mecánicamente el LED mientras se transmite la luz. En otro refinamiento, el LED se gira a una velocidad de al menos alrededor de 5 rpm.

En otra caracterización, se aplica un material de igualación de índices sobre el primer extremo del miembro de resistencia para facilitar la transmisión de luz hacia la fibra óptica.

Otro ejemplo de la presente descripción que es útil para comprender la invención, pero que no se menciona en las reivindicaciones independientes, se refiere a un método para la preparación de un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra para la interrogación utilizando una fuente de luz. El compuesto reforzado con fibra comprende una matriz de unión y una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas en la matriz de unión, al menos una primera fibra óptica está dispuesta en el compuesto reforzado con fibra, la primera fibra óptica se extiende desde un primer extremo del compuesto reforzado con fibra hasta un segundo extremo del compuesto reforzado con fibra. El método comprende el paso de cortar un compuesto reforzado con fibra alargado cerca de un primer extremo del compuesto reforzado con fibra alargado, formando una primera superficie de extremo cortada que es sustancialmente plana. El método también incluye el paso de pulir la primera superficie de extremo cortada para formar una primera superficie de extremo pulida que comprende el compuesto reforzado con fibra y un primer extremo de la fibra óptica. El elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra resultante está configurado para ser interrogado por una fuente de luz incoherente.

El método anterior puede caracterizarse por tener refinamientos y/o pasos adicionales, que pueden implementarse solos o en cualquier combinación. En un refinamiento, el método incluye el paso de cortar el compuesto reforzado con fibra cerca del segundo extremo del compuesto reforzado con fibra para formar una segunda superficie de extremo de corte que es sustancialmente plana, y pulir la segunda superficie de extremo de corte para formar una segunda superficie de extremo pulida que comprende el compuesto reforzado con fibra y un segundo extremo de la primera fibra óptica.

En otra caracterización, el elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra tiene una longitud de al menos alrededor de 100 metros. En otra caracterización más, el elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra tiene una longitud de no más de alrededor de 7500 metros.

En otra caracterización, lo(s) paso(s) de corte del compuesto reforzado con fibra comprende(n) cortar con un borde de corte arenado motorizado. En un refinamiento, el borde de corte arenoso comprende grano abrasivo que tiene un tamaño de grano de al menos alrededor de 30 μm . En otro refinamiento, el borde de corte arenado es girado por un motor durante el paso de corte. Otro refinamiento incluye el paso de asegurar el primer extremo del compuesto reforzado con fibra durante al menos el paso de corte de modo que el primer extremo se disponga sustancialmente de forma ortogonal con respecto al borde de corte durante el paso de corte. En otro refinamiento, el paso de pulido comprende pulir la primera superficie de extremo cortada con una superficie de pulido arenosa. En aun otro refinamiento, la superficie de pulido granulada comprende grano abrasivo que tiene un tamaño de grano no más grueso que alrededor de 25 μm . En otro refinamiento, el paso de enfriamiento del primer extremo del material compuesto reforzado con fibra alargada antes y/o durante el paso de pulido.

En otro ejemplo, se describe un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado que no se menciona en las reivindicaciones independientes per se, pero que puede implementarse en el sistema de la invención. El miembro de resistencia comprende al menos un primer elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra que tiene un eje central longitudinal. El elemento de resistencia comprende una matriz de unión, una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas dentro de la matriz de unión para formar un compuesto reforzado con fibra, y al menos una primera fibra óptica alargada y continua incrustada dentro del compuesto reforzado con fibra y que se extiende desde un primer extremo del elemento de resistencia hasta un segundo extremo del elemento

de resistencia. Al menos el primer extremo del elemento de resistencia comprende una primera superficie de extremo, la primera superficie de extremo comprende el material compuesto reforzado con fibra y en donde la primera fibra óptica no se extiende más allá de la primera superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra.

5 El miembro de resistencia anterior se puede caracterizar por tener refinamientos de características y/o características adicionales, que se pueden implementar solos o en cualquier combinación. En una caracterización, el segundo extremo del elemento de resistencia comprende una segunda superficie de extremo, en donde la primera fibra óptica no se extiende más allá de la segunda superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra.

10 En otra caracterización, el elemento de resistencia comprende al menos una segunda fibra óptica alargada y continua incrustada dentro del compuesto reforzado con fibra, y donde la segunda fibra óptica no se extiende más allá de la primera superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra. En un refinamiento, el elemento de resistencia comprende al menos una tercera fibra óptica alargada y continua dispuesta dentro del compuesto reforzado con fibra, y en donde la tercera fibra óptica no se extiende más allá de la primera superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra. En otro refinamiento, el elemento de resistencia comprende al menos una cuarta fibra óptica alargada y continua dispuesta dentro del compuesto reforzado con fibra, y en donde la cuarta fibra óptica no se extiende más allá de la primera superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra. En otro refinamiento, las fibras ópticas están dispuestas concéntricamente alrededor del eje central longitudinal del elemento de resistencia. En otro refinamiento más, el eje central longitudinal del elemento de resistencia está libre de fibras ópticas.

25 En una caracterización, las fibras ópticas son fibras ópticas monomodo. En otra caracterización, las fibras ópticas son fibras ópticas de vidrio. En un refinamiento, las fibras ópticas de vidrio comprenden un núcleo de vidrio transmisor y un único recubrimiento polimérico que rodea el núcleo de vidrio transmisor. En otro refinamiento, el recubrimiento polimérico único tiene un módulo de elasticidad de al menos alrededor de 1000 MPa.

30 En una caracterización, el miembro de resistencia tiene una longitud de al menos alrededor de 100 metros. En un refinamiento, el miembro de resistencia tiene una longitud de al menos alrededor de 3500 metros. En otra caracterización, el miembro de resistencia tiene una longitud no mayor que alrededor de 7500 metros. En otra caracterización, el miembro de resistencia se envuelve en un carrete.

35 En otra caracterización, el miembro de resistencia tiene una sección transversal sustancialmente circular. En un refinamiento, el miembro de resistencia tiene un diámetro de al menos alrededor de 1.0 mm. En otro refinamiento, el miembro de resistencia tiene un diámetro no mayor que alrededor de 20 mm. En otra caracterización, las fibras de refuerzo comprenden fibras de carbono que se extienden longitudinalmente. En un refinamiento, el miembro de resistencia comprende además una capa aislante que rodea las fibras de carbono. En otro refinamiento, la capa aislante comprende fibras de vidrio. En otro refinamiento, las fibras ópticas se disponen entre las fibras de carbono y la capa aislante.

40 En una caracterización, el miembro de resistencia tiene una resistencia a la tracción nominal de al menos alrededor de 1900 MPa. En otra caracterización, el miembro de resistencia tiene un coeficiente de expansión térmica no mayor que alrededor de $30 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

45 En otra caracterización, la primera superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra es una superficie pulida. En un refinamiento, la segunda superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra es una superficie pulida. En aun otro refinamiento, la primera superficie de extremo es sustancialmente ortogonal al eje central longitudinal del miembro de resistencia. En otro refinamiento, un primer extremo de la primera fibra óptica es sustancialmente coplanar con la primera superficie de extremo del compuesto reforzado con fibra.

50 En una caracterización, el miembro de resistencia comprende un único elemento de resistencia. En otra caracterización, el miembro de resistencia comprende una pluralidad de elementos de resistencia.

55 En otra caracterización, se describe un cable eléctrico aéreo, en donde el cable eléctrico aéreo comprende el miembro de resistencia de acuerdo con el ejemplo anterior, que incluye cualquier caracterización y refinamiento, y una capa conductora que rodea el miembro de resistencia. En un refinamiento, la capa conductora comprende una pluralidad de hebras conductoras dispuestas alrededor del miembro de resistencia.

60 En otro ejemplo que no se menciona en las reivindicaciones independientes per se, pero que es útil para comprender la invención, se describe un dispositivo para la transmisión de luz en un extremo de una fibra óptica que está incrustada en un miembro estructural alargado. El dispositivo comprende un cuerpo estructural sustancialmente rígido, un orificio dispuesto al menos parcialmente a través del cuerpo estructural y que tiene una abertura en un primer extremo del orificio, la abertura y el orificio están configurados para recibir un extremo de un miembro estructural alargado que tiene al menos una primera fibra óptica incrustada a lo largo de una longitud del miembro estructural. Una fuente de luz se dispone al menos parcialmente dentro del cuerpo estructural y cerca de un segundo extremo del orificio, la fuente de luz se configura para transmitir luz en el orificio y hacia el extremo del

miembro alargado cuando el miembro alargado se coloca en el primer extremo del orificio. Una fuente de energía conectada operativamente a la fuente de luz.

5 El dispositivo anterior puede caracterizarse por tener mejoras de características y/o características adicionales, que pueden implementarse solas o en cualquier combinación. En una caracterización, la fuente de luz es una fuente de luz incoherente. En un perfeccionamiento, la fuente de luz comprende un diodo emisor de luz (LED). En otro refinamiento, el LED está configurado para emitir luz dentro de un rango de longitud de onda de al menos alrededor de 300 nm y no mayor que alrededor de 1000 nm. En otro refinamiento, el LED está configurado para emitir luz dentro de un rango de longitud de onda de al menos alrededor de 800 nm y no mayor que alrededor de 900 nm.

10 En otra caracterización, un motor está conectado operativamente a la fuente de luz y está configurado para mover la fuente de luz a medida que la fuente de luz transmite luz al orificio. En un refinamiento, el motor está configurado para girar la fuente de luz alrededor de un eje central de la fuente de luz.

15 En otra caracterización, se proporciona un elemento de tope para mantener una distancia entre la fuente de luz y el extremo del miembro estructural cuando el miembro estructural se coloca en el primer extremo del orificio. En un perfeccionamiento, el elemento de tope comprende un reborde dispuesto dentro del orificio, donde el reborde está configurado para evitar el movimiento del miembro estructural más allá del reborde en una dirección hacia la fuente de luz. En un refinamiento, el elemento de tope está configurado para mantener una distancia entre el extremo del miembro estructural y la fuente de luz de al menos alrededor de 0.1 mm y no mayor que alrededor de 150 mm. En una caracterización, el cuerpo estructural rígido comprende un metal. En un refinamiento, el metal comprende aluminio.

20 Otro ejemplo no mencionado por las reivindicaciones independientes per se, pero que es útil para comprender la invención, es un dispositivo para la detección de luz que emana de un extremo de una fibra óptica que está incrustada en un miembro estructural alargado. El dispositivo incluye un cuerpo estructural sustancialmente rígido, un orificio dispuesto al menos parcialmente a través del cuerpo estructural y que tiene una abertura en un primer extremo del orificio. La abertura y el orificio están configurados para recibir un extremo de un miembro estructural alargado que tiene al menos una primera fibra óptica incrustada a lo largo de una longitud del miembro estructural. Un detector de luz dispuesto dentro del cuerpo estructural y cerca de un segundo extremo del orificio, el detector de luz está configurado para recibir y detectar luz de la fibra óptica cuando el miembro alargado se coloca en el primer extremo del orificio. Una fuente de alimentación está conectada operativamente al detector de luz.

25 El dispositivo anterior puede caracterizarse por tener mejoras de características y/o características adicionales, que pueden implementarse solas o en cualquier combinación. En una caracterización, el detector de luz se selecciona de un sensor CCD y un sensor CMOS. En otra caracterización, el dispositivo comprende un elemento de bloqueo de luz dispuesto en el primer extremo del orificio y configurado para sellar alrededor del miembro estructural cuando el miembro estructural se coloca en el orificio. En un refinamiento, el elemento de bloqueo de la luz comprende un material elastomérico.

30 En otra caracterización, el dispositivo comprende un elemento de tope configurado para mantener una distancia entre el detector de luz y el extremo del miembro estructural cuando el miembro estructural se coloca en el primer extremo del orificio. En un refinamiento, el elemento de tope comprende un reborde dispuesto dentro del orificio que está configurado para evitar el movimiento del miembro estructural más allá del reborde hacia el detector de luz. En otro refinamiento, el elemento de tope está configurado para mantener una distancia entre el extremo del miembro estructural y el detector de luz de al menos alrededor de 5 mm y no mayor que alrededor de 300 mm.

35 En otra caracterización, el dispositivo comprende una lente que está configurada para enfocar la luz que emana de la fibra óptica sobre el detector de luz. En otra caracterización, el cuerpo estructural rígido comprende un metal. En un refinamiento, el metal comprende aluminio.

40 En otro ejemplo no mencionado por las reivindicaciones independientes, pero que es útil para comprender la invención, se describe una herramienta para cortar y pulir. La herramienta incluye un cuerpo plano que comprende un borde de corte dispuesto a lo largo de al menos un borde del cuerpo plano, y una superficie de pulido que cubre al menos una parte del cuerpo plano. Un miembro de alineación está asociado operativamente con el cuerpo plano y está configurado para alinear operativamente un miembro estructural alargado que tiene un eje longitudinal con el cuerpo plano, de modo que el borde de corte del cuerpo plano está configurado para mover y cortar el miembro estructural alargado sustancialmente ortogonal al eje longitudinal para formar una superficie de corte. La superficie de pulido está configurada para pulir la superficie de corte a medida que el borde de corte corta y se mueve a través del miembro estructural alargado.

45 La herramienta anterior para cortar y pulir se puede caracterizar por tener refinamientos de características y/o características adicionales, que se pueden implementar solas o en cualquier combinación. En una caracterización, el cuerpo plano es sustancialmente circular. En un refinamiento, un motor está conectado operativamente al cuerpo plano y configurado para girar el cuerpo plano alrededor de un eje central del cuerpo plano. En otro refinamiento,

- 5 el borde de corte comprende una pluralidad de dientes de corte. En otro refinamiento más, el borde de corte comprende una superficie arenosa. En aun otro refinamiento, la superficie arenosa comprende arenilla abrasiva que tiene un tamaño de al menos alrededor de 35 μm . En otra caracterización, la superficie de pulido comprende grano de pulido abrasivo. En un refinamiento, el grano de pulido tiene un tamaño no superior a alrededor de 25 μm . En otro refinamiento, la superficie de pulido se eleva por encima de la superficie del cuerpo plano en al menos alrededor de 0,1 mm y no más de alrededor de 1,2 mm. En otra caracterización, un mecanismo de accionamiento está configurado para empujar la superficie de pulido hacia el extremo del miembro estructural alargado. En un perfeccionamiento, el mecanismo de accionamiento comprende un resorte.
- 10 En otra caracterización, una batería alimenta el movimiento del cuerpo plano. En un refinamiento, la batería tiene un voltaje de no más de alrededor de 18 voltios. En otro refinamiento, la herramienta es una herramienta de mano que comprende un miembro de agarre para agarrar y manipular libremente la herramienta. En un refinamiento, la herramienta comprende un mecanismo de captura configurado para la captura de polvo de los pasos de corte y pulido.
- 15 De acuerdo con otro ejemplo no mencionado por las reivindicaciones independientes, pero que es útil para comprender la invención, se describe un método para la fabricación de un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado que está configurado para su uso en un miembro de resistencia a la tracción. El método incluye los pasos de formar un compuesto reforzado con fibra alargado que tiene un eje central longitudinal, el compuesto reforzado con fibra comprende una matriz de unión y una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas en la matriz de unión. Durante el paso de formación del compuesto reforzado con fibra, al menos una primera fibra óptica se incrusta en el compuesto reforzado con fibra, la primera fibra óptica se extiende desde un primer extremo del compuesto reforzado con fibra hasta un segundo extremo del compuesto reforzado con fibra. El compuesto reforzado con fibra se corta cerca del primer extremo del compuesto reforzado con fibra, formando el corte una primera superficie de extremo de corte que es sustancialmente plana. La primera superficie de extremo cortada se pule luego para formar un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado que tiene una primera superficie de extremo pulida, la primera superficie de extremo pulida comprende el compuesto reforzado con fibra y un primer extremo de la fibra óptica.
- 20 El método anterior puede caracterizarse por tener refinamientos y/o pasos adicionales, que pueden implementarse solos o en cualquier combinación. En una caracterización, el método incluye los pasos de segundo corte del compuesto reforzado con fibra próximo al segundo extremo del compuesto reforzado con fibra, formando el segundo corte una segunda superficie de extremo de corte que es sustancialmente plana, y pulir la segunda superficie de extremo de corte para formar una segunda superficie de extremo pulida que comprende el compuesto reforzado con fibra y un segundo extremo de la primera fibra óptica.
- 25 En otra caracterización, el método comprende los pasos de incrustar, durante el paso de formación del compuesto reforzado con fibra, al menos una segunda fibra óptica en el compuesto reforzado con fibra, la segunda fibra óptica se extiende desde el primer extremo del compuesto reforzado con fibra hasta el segundo extremo del compuesto reforzado con fibra. En otro refinamiento, el método comprende el paso de incrustar al menos una tercera fibra óptica en el compuesto reforzado con fibra, la tercera fibra óptica se extiende desde el primer extremo del compuesto reforzado con fibra hasta el segundo extremo del compuesto reforzado con fibra. En un refinamiento adicional, el método comprende el paso de incrustar al menos una cuarta fibra óptica en el compuesto reforzado con fibra, la cuarta fibra óptica se extiende desde el primer extremo del compuesto reforzado con fibra hasta el segundo extremo del compuesto reforzado con fibra.
- 30 En otra caracterización, las fibras ópticas están dispuestas concéntricamente alrededor de un eje central longitudinal del elemento de resistencia. En otro refinamiento, un eje central longitudinal del elemento de resistencia está libre de fibras ópticas. En otra caracterización, el elemento de resistencia tiene una longitud de al menos unos 3500 metros. En otra caracterización más, el elemento de resistencia tiene una longitud de no más de alrededor de 7500 metros. En otra caracterización, el método comprende además el paso de, antes de los pasos de corte y pulido, envolver el compuesto reforzado con fibra en un carrete. En otra caracterización, las fibras de refuerzo comprenden fibras de carbono que se extienden longitudinalmente. En otra caracterización, el paso de formar el compuesto reforzado con fibra alargado e incrustar las fibras ópticas comprende tirar de las fibras de refuerzo y las fibras ópticas a través de un aparato de pultrusión. En otro refinamiento, lo(s) paso(s) de corte del compuesto reforzado con fibra comprende(n) cortar con un borde de corte arenado motorizado. En otra caracterización, el borde de corte granulado comprende granalla abrasiva que tiene un tamaño de al menos alrededor de 30 μm . En otro refinamiento, el borde de corte arenado motorizado es girado por un motor durante el paso de corte.
- 35 En otra caracterización, el método comprende el paso de asegurar el primer extremo del compuesto reforzado con fibra de manera que el primer extremo esté dispuesto sustancialmente de forma ortogonal con respecto al borde de corte durante el paso de corte. En otro refinamiento, el paso de pulido comprende pulir la primera superficie de extremo cortada con una superficie de pulido. En aun otro refinamiento, la superficie de pulido comprende grano abrasivo que tiene un tamaño de grano no mayor que alrededor de 25 μm . En otra caracterización, el método comprende el paso de enfriar el primer extremo del compuesto reforzado con fibra antes y/o durante el paso de pulido.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

Breve descripción de las figuras

- 5 Las FIGS. 1A y 1B ilustran vistas en perspectiva de cables eléctricos aéreos desnudos.
- Las FIGS. 2A y 2B ilustran vistas en sección transversal de elementos de resistencia compuestos que están configurados para su uso en un cable eléctrico aéreo.
- 10 Las FIGS. 3A a 3F ilustran vistas transversales de elementos de resistencia compuestos que incluyen fibras ópticas de acuerdo con ejemplos de la presente descripción.
- La FIG. 4 ilustra una vista esquemática de un sistema para la interrogación de un elemento de resistencia compuesto según una realización de la presente divulgación.
- 15 La FIG. 5 ilustra un dispositivo de transmisión de luz de acuerdo con un ejemplo de la presente descripción.
- La FIG. 6 ilustra un dispositivo de detección de luz de acuerdo con un ejemplo de la presente descripción.
- 20 Las FIGS. 7A y 7B ilustran una herramienta de corte y pulido de acuerdo con un ejemplo de la presente descripción.

Descripción detallada de la invención

- 25 La presente descripción se refiere a sistemas, métodos, componentes y herramientas que permiten la interrogación de un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra para determinar la integridad estructural del miembro de resistencia compuesto.
- 30 Como se usan los términos en esta descripción, un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra es una estructura compuesta reforzada con fibra que se usa en una aplicación (por ejemplo, un cable eléctrico aéreo desnudo), tal como por su peso ligero y buenas propiedades mecánicas (por ejemplo, alta resistencia a la tracción) en comparación con, por ejemplo, acero. El compuesto reforzado con fibra incluye fibras de refuerzo en una matriz de unión. Un miembro de resistencia puede comprender un único (es decir, no más de un) elemento de resistencia (por ejemplo, un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra de una sola pieza), o puede comprender
- 35 varios elementos de resistencia compuestos que se combinan (por ejemplo, retorcidos, trenzados o agrupados de otro modo) para formar el miembro de resistencia. Como tal, la presente descripción puede usar los términos miembro de resistencia y elemento de resistencia indistintamente, particularmente cuando el miembro de resistencia incluye un único elemento de resistencia.
- 40 Los sistemas y métodos para interrogación descritos en la presente pueden incorporar un miembro de resistencia que está configurado de manera única para su uso en los sistemas y métodos, y para su uso en sistemas y métodos similares. En una realización, se describen sistemas y métodos para la interrogación de un miembro de refuerzo compuesto reforzado con fibra donde el miembro de refuerzo compuesto incluye un elemento de refuerzo compuesto reforzado con fibra que tiene al menos una primera fibra óptica dispuesta dentro del elemento de
- 45 refuerzo, un dispositivo de transmisión de luz conectado operativamente a un primer extremo del elemento de refuerzo y un dispositivo de detección de luz conectado operativamente a un segundo extremo del elemento de refuerzo. Los sistemas y métodos están configurados para interrogar al miembro de refuerzo para determinar si el miembro de refuerzo está comprometido estructuralmente. Los sistemas y métodos son rentables y son relativamente fáciles de implementar en cualquier momento a través de la fabricación e instalación del miembro de
- 50 resistencia.
- De acuerdo con la presente descripción, el miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra puede tener una o más características que permiten la interrogación del miembro de resistencia en el sistema y método de interrogación, aunque las características del miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra descrito en la
- 55 presente también pueden facilitar su uso en otros sistemas y en otros métodos.
- Los miembros de resistencia se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones estructurales, particularmente como un miembro de resistencia a la tracción. En una realización particular, un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado está configurado para su uso en un cable eléctrico aéreo, por ejemplo, un cable
- 60 eléctrico aéreo desnudo. Como se señaló anteriormente, los cables eléctricos aéreos para la transmisión y/o distribución de electricidad típicamente incluyen un miembro de resistencia central y un conductor eléctrico dispuesto alrededor y soportado por el miembro de resistencia. Aunque el miembro de resistencia se ha fabricado tradicionalmente de acero, dichos miembros de resistencia de acero se reemplazan cada vez más por miembros de resistencia fabricados a partir de materiales compuestos, particularmente a partir de materiales compuestos
- 65 reforzados con fibra, que ofrecen muchos beneficios significativos. Dichos miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra pueden incluir un único elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra (por ejemplo,

una sola varilla) como se ilustra en la FIG. 1A. Un ejemplo de dicha configuración se describe en la patente estadounidense No. 7,368,162 de Hiel et ál., mencionada anteriormente. Alternativamente, el miembro de resistencia compuesto puede estar compuesto por una pluralidad de elementos de resistencia compuestos reforzados con fibra individuales (por ejemplo, varillas individuales) que se combinan operativamente (por ejemplo, se retuercen o trenzan entre sí) para formar el miembro de resistencia, como se ilustra en la FIG. 1B. Los ejemplos de dichos miembros de resistencia compuestos de múltiples elementos incluyen, de modo no taxativo: el miembro de resistencia compuesto de matriz de aluminio de múltiples elementos ilustrado en la patente estadounidense No. 6,245,425 de McCullough et ál.; el miembro de resistencia de fibra de carbono de múltiples elementos ilustrado en la patente estadounidense No. 6,015,953 de Tosaka et ál.; y el miembro de resistencia de múltiples elementos ilustrado en la patente estadounidense No. 9,685,257 de Daniel et al. Se pueden utilizar otras configuraciones para el miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra.

Volviendo al ejemplo de la FIG. 1A, el cable eléctrico aéreo 120A incluye una primera capa conductora 122a que comprende una pluralidad de hebras conductoras 124a que se envuelven helicoidalmente alrededor de un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra 126, que comprende un único elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra 127. Los filamentos conductores 124a pueden fabricarse a partir de metales conductores tales como cobre o aluminio, y para su uso en cables eléctricos aéreos desnudos se fabrican típicamente a partir de aluminio, por ejemplo, aluminio endurecido, aluminio recocido y/o aleaciones de aluminio. Los materiales conductores, por ejemplo, aluminio, y no tienen suficientes propiedades mecánicas (por ejemplo, suficiente resistencia a la tracción) para ser autoportantes cuando se ensartan entre torres de soporte para formar una línea eléctrica aérea para la transmisión y/o distribución de electricidad. Por lo tanto, el cable eléctrico aéreo 120A incluye el miembro de resistencia 126 para soportar las capas conductoras 124a/124b cuando el cable eléctrico aéreo 120A se ensarta entre las torres de soporte bajo alta tensión mecánica.

Como se ilustra en la FIG. 1A, las hebras conductoras 124a/124b tienen una sección transversal sustancialmente trapezoidal, aunque se pueden emplear otras configuraciones, tales como secciones transversales circulares. El uso de secciones transversales poligonales tales como la sección transversal trapezoidal aumenta ventajosamente el área de la sección transversal del metal conductor para el mismo diámetro de cable efectivo, por ejemplo, en comparación con los filamentos que tienen una sección transversal circular. Como se ilustra en la FIG. 1A, el cable eléctrico aéreo 120A incluye una segunda capa conductora 122b, como es típico, que comprende una pluralidad de hebras conductoras 124b que están enrolladas helicoidalmente alrededor de la primera capa conductora 122a. Se apreciará que dichos cables eléctricos aéreos pueden incluir una sola capa conductora, o más de dos capas conductoras, dependiendo del uso deseado del cable eléctrico aéreo.

La FIG. 1B ilustra un ejemplo de un cable eléctrico aéreo 120B que es similar al cable eléctrico ilustrado en la FIG. 1A, en donde el miembro de resistencia 128 comprende una pluralidad de elementos de resistencia individuales reforzados con fibra (por ejemplo, el elemento de resistencia 129) que están trenzados o retorcidos juntos para formar el miembro de resistencia 128. Aunque se ilustra en la FIG. 1B como que incluye siete elementos de resistencia individuales, se apreciará que un miembro de resistencia de múltiples elementos puede incluir cualquier número de elementos de resistencia que sea adecuado para una aplicación particular.

Las FIGS. 2A y 2B ilustran vistas en sección transversal de dos ejemplos de un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra. La FIG. 2A ilustra un elemento de resistencia reforzado con fibra 220A que tiene un núcleo interno 228A que incluye fibras de refuerzo de carbono que se extienden longitudinalmente en una matriz polimérica, tal como en un polímero termoplástico o un polímero termoestable. El núcleo interno 228A está rodeado por una capa de polímero externa 230A fabricada a partir de un polímero aislante (por ejemplo, alto dieléctrico) tal como PEEK (poliéter éter cetona). La capa 230A protege las fibras de carbono del núcleo interno 228A del contacto con la capa conductora (ver FIG. 1), lo que puede causar corrosión galvánica del aluminio. En el ejemplo ilustrado en la FIG. 2B, el elemento de resistencia 220B incluye un núcleo interno 228B de fibras de carbono que se extienden longitudinalmente en una matriz polimérica y una capa externa 230B de fibras de vidrio aislantes (por ejemplo, fibras de vidrio continuas) en una matriz polimérica. La capa externa 230B de fibras de vidrio proporciona una protección robusta de las fibras de carbono contra el contacto con la capa conductora y proporciona una mayor flexibilidad al elemento de resistencia 220B de modo que el elemento de resistencia y el cable eléctrico se puedan envolver en un carrete para su almacenamiento y transporte sin dañar el elemento de resistencia 220B. Típicamente, cuando el miembro de resistencia se construye a partir de múltiples elementos de resistencia, los elementos de resistencia individuales tendrán un diámetro más pequeño que un miembro de resistencia de un solo elemento. Véanse las FIGS. 1A y 1B anteriores. Dichos miembros de resistencia pueden incluir una capa (por ejemplo, una envoltura) que rodea el haz de elementos de resistencia. También se apreciará que no todos los miembros de resistencia requerirán una capa aislante.

Como se señaló anteriormente, el compuesto reforzado con fibra a partir del cual se construyen los elementos de resistencia incluye fibras de refuerzo que se disponen operativamente en una matriz de unión. Las fibras de refuerzo pueden ser fibras de refuerzo sustancialmente continuas que se extienden a lo largo de la longitud del compuesto reforzado con fibra, y/o pueden incluir fibras de refuerzo cortas (por ejemplo, filamentos de fibra o fibras cortadas) que se dispersan a través de la matriz de unión. Las fibras de refuerzo se pueden seleccionar de una

amplia gama de materiales, que incluyen, de modo no limitativo, carbono, vidrio, boro, óxidos metálicos, carburos metálicos, polímeros de alta resistencia tales como fibras de aramida o fibras de fluoropolímero, fibras de basalto y similares. Las fibras de carbono son particularmente ventajosas en muchas aplicaciones debido a su resistencia a la tracción muy alta y/o debido a su coeficiente de expansión térmica (CTE) relativamente bajo.

La matriz de unión puede incluir, por ejemplo, un plástico (por ejemplo, polímero) tal como un polímero termoplástico o un polímero termoestable. Por ejemplo, la matriz de unión puede incluir un polímero termoplástico, que incluye termoplásticos semicristalinos. Los ejemplos específicos de termoplásticos útiles incluyen, de modo no limitativo, poliéter éter cetona (PEEK), polipropileno (PP), sulfuro de polifenileno (PPS), polieterimida (PEI), polímero de cristal líquido (LCP), polioximetileno (POM o acetal), poliamida (PA o nailon), polietileno (PE), fluoropolímeros y poliésteres termoplásticos. Otros ejemplos de materiales poliméricos útiles para una matriz de unión pueden incluir resinas fenólicas curadas por adición, *por ejemplo*, bismaleimidias (BMI), polieteramidias, diversos anhídridos o imidas.

La matriz de unión también puede incluir un polímero termoendurecible. Los ejemplos de polímeros termoendurecibles útiles incluyen, de modo no taxativo, benzoxazina, poliimidias termoendurecibles (PI), resina de poliéter amida (PEAR), resinas fenólicas, resinas de éster vinílico a base de epoxi, resinas de policianato y resinas de éster de cianato. En un ejemplo de ejemplo, se utiliza una resina de éster vinílico en la matriz de unión. Otro ejemplo incluye el uso de una resina epoxi, tal como una resina epoxi que es un producto de reacción de epiclorhidrina y bisfenol A, bisfenol A diglicidil éter (DGEBA). Los agentes de curado (*por ejemplo*, endurecedores) para resinas epoxídicas se pueden seleccionar de acuerdo con las propiedades deseadas del miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra y el método de procesamiento. Por ejemplo, los agentes de curado se pueden seleccionar de poliaminas alifáticas, poliamidas y versiones modificadas de estos compuestos. También se pueden usar anhídridos e isocianatos como agentes de curado.

La matriz de unión también puede ser una matriz metálica, tal como una matriz de aluminio. Un ejemplo de un material compuesto reforzado con fibra de matriz de aluminio se ilustra en la patente estadounidense No. 6.245.425 de McCullough et ál., mencionada anteriormente.

Una configuración de un miembro de resistencia compuesto para un cable eléctrico aéreo que es particularmente ventajosa es la configuración compuesta ACCC[®] que está disponible en CTC Global Corporation de Irvine, CA y se ilustra en la patente estadounidense No. 7,368,162 de Hiel et al., mencionada anteriormente. En la realización comercial del cable eléctrico ACCC[®], el miembro de resistencia es un miembro de resistencia de un solo elemento de sección transversal sustancialmente circular que incluye un núcleo interno de fibras de carbono de refuerzo sustancialmente continuas dispuestas en una matriz polimérica. El núcleo de fibras de carbono está rodeado por una capa aislante robusta de fibras de vidrio que también están dispuestas en una matriz polimérica, y se seleccionan para aislar las fibras de carbono de las hebras de aluminio conductoras circundantes. Véase la FIG. 2B. Las fibras de vidrio también tienen un módulo elástico más alto que las fibras de carbono y proporcionan flexibilidad para que el miembro de resistencia y el cable eléctrico se puedan envolver en un carrete para su almacenamiento y transporte.

Los miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra que son útiles en cables eléctricos aéreos se pueden caracterizar de varias maneras. Una caracterización puede ser la longitud del miembro de resistencia. Por ejemplo, los miembros de resistencia para cables eléctricos aéreos se producen típicamente en longitudes muy largas. En determinadas caracterizaciones, el miembro de resistencia tal como se produce puede tener una longitud de al menos alrededor de 1000 metros, tal como al menos alrededor de 3500 metros, tal como al menos alrededor de 5000 metros, o incluso al menos alrededor de 7500 metros. A menudo, inmediatamente después de la producción del miembro de refuerzo, el miembro de refuerzo se envuelve típicamente alrededor de un carrete (por ejemplo, una bobina) para el almacenamiento y/o transporte del miembro de refuerzo, tal como para el transporte a una instalación de trenzado donde el miembro de refuerzo se trenza con un conductor eléctrico para formar un cable eléctrico. Aunque el miembro de resistencia de la presente descripción no tiene un límite superior particular para su longitud, como cuestión práctica, el carrete de almacenamiento/transporte tendrá una capacidad máxima para el miembro de resistencia de no más de alrededor de 9000 metros, tal como no más de alrededor de 8000 metros. Se apreciará que la capacidad máxima del carrete dependerá del diámetro del miembro de resistencia (o, por ejemplo, la cantidad de elementos de resistencia que componen el miembro de resistencia) que se envuelve alrededor del carrete.

La longitud del miembro de refuerzo compuesto reforzado con fibra también puede caracterizarse cuando se forma el cable eléctrico, por ejemplo, cuando el miembro de refuerzo está trenzado con un conductor eléctrico. Como se señaló anteriormente, esto ocurre típicamente durante una operación de trenzado donde el miembro de resistencia se tira de un carrete, se trenzó con un conductor eléctrico (por ejemplo, con hebras conductoras), y el cable eléctrico así formado se envuelve alrededor de otro carrete para el almacenamiento y/o transporte del cable eléctrico. Debido a que las hebras conductoras agregan volumen además del volumen del miembro de resistencia, la longitud del cable eléctrico que se puede almacenar en un carrete se reduce en comparación con el miembro de resistencia solo. Por lo tanto, por ejemplo, la longitud del cable eléctrico y la longitud del miembro de resistencia en este estado

típicamente no será mayor que alrededor de 4500 metros, tal como no mayor que alrededor de 4000 metros.

La longitud del cable eléctrico y del miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra subyacente también se puede caracterizar cuando el cable eléctrico se instala en torres de soporte para formar la línea eléctrica. Para formar la línea eléctrica, el cable eléctrico se tira de un carrete y se une operativamente a las torres de soporte (por ejemplo, pilones) para que el cable eléctrico se suspenda a una distancia segura del suelo. El cable eléctrico debe cortarse a ciertos intervalos a lo largo de la trayectoria de la línea eléctrica y reconectarse utilizando hardware de cable, como empalmes conductores y/o estructuras sin salida. La longitud del cable eléctrico puede ser tan corta como la distancia entre dos torres de soporte adyacentes (por ejemplo, cuando la línea eléctrica gira), o puede abarcar varias torres de soporte antes de cortarse y reconectarse utilizando hardware. Por lo tanto, el cable eléctrico instalado y el miembro de resistencia subyacente pueden tener una longitud de al menos alrededor de 50 metros, tal como al menos alrededor de 100 metros, tal como al menos alrededor de 250 metros o más, o al menos alrededor de 500 metros o más. Algunas líneas eléctricas pueden tener una longitud de hasta alrededor de 3000 metros, por ejemplo, líneas ensartadas a través de ríos o valles en un solo tramo, o líneas a través de terreno ininterrumpido soportado por múltiples torres que crean múltiples tramos.

Como se señaló anteriormente, el miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra puede tener un rango de diámetros, por ejemplo, diámetro de una sección transversal circular, el diámetro efectivo de una sección transversal no circular o el diámetro efectivo de una pluralidad de elementos de resistencia compuestos trenzados o retorcidos que forman el miembro de resistencia. Aunque no hay un límite inferior particular en el diámetro, el diámetro será típicamente de al menos alrededor de 1 mm, tal como al menos alrededor de 2 mm o al menos alrededor de 3 mm. Del mismo modo, aunque no hay un límite superior particular en el diámetro del miembro de resistencia, el diámetro típicamente no será mayor que alrededor de 30 mm, tal como no mayor que alrededor de 20 mm, tal como no mayor que alrededor de 15 mm, tal como no mayor que alrededor de 11 mm.

Los miembros de resistencia compuestos reforzados con fibra que están configurados para su uso en un cable eléctrico aéreo también pueden caracterizarse en términos de una resistencia a la tracción mínima que es necesaria para instalarse de manera segura en las torres de soporte bajo alta tensión mecánica. En este sentido, generalmente es deseable que el miembro de resistencia tenga una resistencia a la tracción de al menos alrededor de 1900 MPa, tal como al menos alrededor de 2000 MPa, tal como al menos alrededor de 2050 MPa. No existe un límite superior práctico en la resistencia a la tracción del miembro de resistencia, ya que normalmente se desea tener una resistencia a la tracción lo más alta posible. Como resultado, el límite superior de la resistencia a la tracción solo está limitado por los materiales disponibles, por ejemplo, la resistencia a la tracción de las fibras de refuerzo disponibles. Dada la resistencia a la tracción de las fibras de refuerzo disponibles actualmente, el límite superior práctico de la resistencia a la tracción es de alrededor de 3500 MPa.

Aunque la resistencia a la tracción es una característica principal del miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra, pueden ser deseables otras características para su uso en una aplicación particular, tal como en un cable eléctrico aéreo. Por ejemplo, también es deseable que el miembro de resistencia en un cable eléctrico aéreo tenga un bajo coeficiente de expansión térmica (CTE) para reducir la aparición de pandeo de la línea cuando la línea eléctrica se sobrecalienta. Por ejemplo, el miembro de resistencia puede tener un CTE no mayor que alrededor de $30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, tal como no mayor que alrededor de $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, tal como no mayor que alrededor de $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, tal como no mayor que alrededor de $7,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, tal como no mayor que alrededor de $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, o incluso no mayor que alrededor de $2,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. En una caracterización, el CTE del miembro de resistencia no es mayor que alrededor de $2,0 \times 10^{-6}$. En algunos ejemplos, el miembro de resistencia puede incluso tener un CTE ligeramente negativo, tal como hasta alrededor de $-0,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Aunque las características anteriores de un miembro de resistencia reforzado con fibra se describen como deseables para su uso en un cable eléctrico aéreo, también pueden ser deseables características similares cuando los miembros de resistencia descritos en la presente se utilizan en otras estructuras, tales como cables de puente y cables mensajeros.

De acuerdo con la presente descripción, el miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra incluye al menos un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra, y el elemento de resistencia incluye al menos una fibra óptica alargada y continua. La fibra óptica puede estar incrustada dentro del compuesto reforzado con fibra (por ejemplo, dentro de la matriz de unión) y puede extenderse desde un primer extremo del elemento de resistencia hasta un segundo extremo del elemento de resistencia. La fibra óptica está configurada para transmitir luz desde el primer extremo del elemento de resistencia al segundo extremo del elemento de resistencia. Mediante la selección adecuada de las fibras ópticas, la colocación de las fibras ópticas y la preparación de los extremos del elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra, el elemento de resistencia se puede interrogar utilizando el sistema y el método descritos en la presente para evaluar la integridad estructural del elemento de resistencia, por ejemplo, para evaluar la integridad estructural del miembro de resistencia que incluye el elemento de resistencia. Aunque se puede utilizar una sola fibra óptica, la eficacia de los sistemas y métodos descritos en la presente se puede mejorar al incluir múltiples fibras ópticas en relación separada dentro del compuesto reforzado con fibra. Como tal, la presente descripción puede referirse al uso de fibras ópticas (por ejemplo, una pluralidad de fibras ópticas) incluso aunque la presente descripción no esté tan limitada.

El término "fibra óptica" utilizado en la presente se refiere a una fibra alargada y continua que está configurada para transmitir luz incidente a lo largo de toda la longitud de la fibra. Típicamente, las fibras ópticas incluirán un núcleo transmisor y una capa de revestimiento que rodea el núcleo que se fabrica a partir de un material diferente (por ejemplo, que tiene un índice de refracción diferente) para reducir la pérdida de luz fuera del núcleo transmisor, por ejemplo, a través del exterior de la fibra óptica. Esto está en contraste con, por ejemplo, una fibra estructural (por ejemplo, una fibra de vidrio estructural) que tiene una composición homogénea y se coloca típicamente en un material compuesto como una estopa de fibra, es decir, un haz no retorcido de filamentos individuales.

Las fibras ópticas utilizadas en el elemento de resistencia pueden ser, por ejemplo, fibras ópticas monomodo o fibras ópticas multimodo. Una fibra óptica monomodo tiene un núcleo transmisor de diámetro pequeño (por ejemplo, alrededor de 9 μm de diámetro) rodeado por un revestimiento que tiene un diámetro de alrededor de 125 μm . Las fibras monomodo están configuradas para permitir que solo se propague un modo de luz. Una fibra óptica multimodo tiene un núcleo transmisor más grande (por ejemplo, de alrededor de 50 μm de diámetro o más) que permite que se propaguen múltiples modos de luz. Una ventaja de la presente descripción es que el sistema y el método de interrogación pueden usar prácticamente cualquier tipo de fibra óptica y, por lo tanto, se pueden preferir las fibras ópticas monomodo por su costo relativamente bajo en comparación con las fibras ópticas multimodo. Las fibras ópticas pueden fabricarse completamente a partir de uno o más polímeros. Sin embargo, las fibras ópticas de polímero pueden no tener suficiente resistencia al calor para soportar la fabricación y/o el uso del elemento de resistencia, y actualmente se prefiere utilizar fibras de vidrio monomodo.

Las fibras ópticas pueden disponerse linealmente a lo largo de la longitud del elemento de resistencia. Dicho de otra manera, las fibras ópticas pueden estar orientadas longitudinalmente y colineales con un eje longitudinal central del elemento de resistencia. En una disposición alternativa, una o más de las fibras ópticas pueden ser no lineales, es decir, pueden estar envueltas (por ejemplo, retorcidas helicoidalmente) con respecto al eje longitudinal central del elemento de resistencia.

Una característica del elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra de acuerdo con la presente descripción es que al menos un extremo del elemento de resistencia tiene una superficie de extremo que está configurada para facilitar la transmisión de luz (por ejemplo, luz infrarroja) a través del elemento de resistencia, por ejemplo, en la fibra óptica dispuesta dentro del compuesto reforzado con fibra, sin la necesidad de aislar (por ejemplo, separar) la fibra óptica del compuesto reforzado con fibra. Debido a que las fibras ópticas son extremadamente pequeñas (por ejemplo, tienen un diámetro de solo alrededor de 250 μm , incluido un recubrimiento externo), son difíciles de ubicar fácilmente (por ejemplo, ubicar visualmente) dentro del compuesto reforzado con fibra. De acuerdo con la presente descripción, no es necesario aislar la fibra óptica (por ejemplo, el extremo de la fibra óptica) del compuesto reforzado con fibra que rodea la fibra óptica para que se implemente el sistema y método de interrogación. Es decir, el elemento de resistencia puede configurarse de manera que la fibra óptica esté incrustada en el compuesto reforzado con fibra y no se extienda más allá de la superficie final del compuesto reforzado con fibra. Para la mayoría de las aplicaciones, será deseable que cada extremo del elemento de resistencia (por ejemplo, el primer y segundo extremo) se configure para permitir que la luz se transmita al elemento de resistencia en un primer extremo, y se transmita fuera del elemento de resistencia y se detecte en un segundo extremo.

En otra caracterización, la superficie final del elemento de resistencia puede describirse como muy lisa. Por ejemplo, la superficie de extremo puede caracterizarse por ser una superficie de extremo pulida, por ejemplo, por haber sido pulida para eliminar crestas, abrasiones u otras características de superficie pequeñas. Como se discute a continuación, la superficie del extremo del elemento de resistencia puede pulirse con un grano abrasivo relativamente fino para eliminar las características de la superficie que pueden resultar del corte del elemento de resistencia con una cuchilla de corte.

En otra caracterización, la superficie de extremo del elemento de resistencia puede describirse como sustancialmente ortogonal a un eje longitudinal central del elemento de resistencia. Es decir, la superficie de extremo puede caracterizarse como una superficie plana que está orientada en o cerca de 90° con respecto al eje longitudinal. Tal como se usa en la presente, sustancialmente ortogonal significa que la superficie de extremo está orientada al menos dentro de $\pm 5^\circ$ de 90° con respecto al eje longitudinal. En una caracterización, la superficie final está orientada dentro de $\pm 2^\circ$ de 90° con respecto al eje longitudinal del elemento de resistencia. Por ejemplo, la superficie final puede orientarse dentro de $\pm 1^\circ$ de 90° con respecto al eje longitudinal, tal como dentro de $\pm 0,5^\circ$ de 90° con respecto al eje longitudinal. Dicha superficie de extremo ortogonal puede formarse, por ejemplo, cortando el extremo del compuesto reforzado con fibra mientras el compuesto se mantiene (por ejemplo, se sujeta) en dicha posición ortogonal con respecto a la cuchilla de corte que se utiliza para cortar el extremo del compuesto. Se ha descubierto que formar una superficie de extremo que tenga una relación ortogonal con el eje longitudinal del elemento de resistencia puede facilitar la transmisión de luz dentro y fuera de las fibras ópticas sin necesidad de que la fuente de luz se acople directamente (por ejemplo, físicamente) a la fibra óptica, y sin requerir que la fibra óptica se ubique (por ejemplo, se identifique visualmente) dentro del compuesto. Un ejemplo de una herramienta que se puede utilizar para formar dicha superficie de extremo se describe a continuación.

El sistema y el método descritos en la presente para la interrogación de un elemento de resistencia se pueden utilizar para evaluar la integridad estructural del elemento de resistencia, por ejemplo, para determinar si el elemento de resistencia (por ejemplo, el compuesto reforzado con fibra) incluye fracturas u otros defectos similares, por ejemplo, de la fabricación o manipulación del elemento de resistencia. Para proporcionar una evaluación confiable, y dependiendo del tamaño y la configuración (por ejemplo, diámetro y/o sección transversal) del elemento de resistencia, también puede ser deseable que el elemento de resistencia incluya al menos una segunda fibra óptica alargada y continua, por ejemplo, incrustada dentro del compuesto reforzado con fibra. El elemento de resistencia también puede incluir al menos una tercera fibra óptica o incluso al menos una cuarta fibra óptica para proporcionar una evaluación confiable, por ejemplo, para aumentar la probabilidad de que una fractura en el compuesto reforzado con fibra también interrumpa (por ejemplo, fracture) una fibra óptica, por ejemplo, hará que la transmitancia de luz de la fibra óptica se reduzca o elimine en gran medida. Las fibras ópticas múltiples son particularmente útiles cuando se usa un solo elemento de resistencia como miembro de resistencia. Es deseable que las fibras ópticas se ajusten a las características indicadas anteriormente, por ejemplo, que las fibras ópticas no se extiendan más allá de la (s) superficie(s) final(es) del compuesto reforzado con fibra.

Cuando el elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra incluye tres o más fibras ópticas, las fibras ópticas pueden disponerse concéntricamente alrededor del eje central longitudinal del elemento de resistencia, y pueden disponerse equidistantes del eje longitudinal y/o equidistantes entre sí. Esto puede aumentar la capacidad del sistema y el método para detectar defectos en el compuesto reforzado con fibra al distribuir las fibras ópticas de manera uniforme a través de la sección transversal del elemento de resistencia. En un ejemplo particular, el elemento de resistencia incluye al menos cuatro fibras ópticas que están dispuestas de manera concéntrica alrededor del eje longitudinal y están separadas aproximadamente por igual entre sí, por ejemplo, en ángulos de alrededor de 90° alrededor de la sección transversal del elemento de resistencia. En una caracterización, el eje central longitudinal del elemento de resistencia está libre de fibras ópticas, por ejemplo, el elemento de resistencia no incluye una fibra óptica dispuesta centralmente. Se cree que colocar una fibra óptica a lo largo del eje central no contribuirá significativamente a la eficacia del sistema y método de interrogación, ya que existe una probabilidad muy baja de que una fractura pase cerca del eje central del elemento de resistencia sin pasar también muy cerca, e interrumpir, una o más de las fibras ópticas que están dispuestas alrededor y separadas del eje central.

En los ejemplos descritos anteriormente, en donde el elemento de resistencia comprende un núcleo compuesto central de fibras de refuerzo, tal como un núcleo que comprende fibras de carbono, y una capa aislante que rodea el núcleo central, tal como una capa de fibras de vidrio en la matriz de unión, las fibras ópticas pueden estar ventajosamente incrustadas en diferentes ubicaciones dentro del compuesto reforzado con fibra, es decir, a diferentes distancias del eje central y/o en diferentes ángulos con respecto al eje central del núcleo en la interfaz del núcleo central y la capa aislante. La colocación en esta interfaz puede aumentar la probabilidad de que las fibras ópticas se interrumpan cuando se produce una fractura en el elemento de resistencia.

Con referencia a la FIGS. 3A a 3F, se ilustra una vista transversal de los elementos de resistencia de acuerdo con los ejemplos de la presente descripción. La configuración de las secciones reforzadas con fibra de los elementos de resistencia 326A a 326F es similar al elemento de resistencia ilustrado en la FIG. 2B, e incluye un núcleo interno de fibras de alta resistencia a la tracción rodeado por una capa externa de un material aislante, por ejemplo, un núcleo interno que comprende fibras de carbono rodeado por una capa externa que comprende fibras de vidrio. Como se ilustra en la FIG. 3A, el elemento de resistencia 326A incluye cuatro fibras ópticas 232a-d que están dispuestas concéntricamente en el elemento de resistencia 426 alrededor y separadas del eje central. Como se ilustra en la FIG. 3A, las fibras 323A-d se colocan en o muy cerca de una interfaz 329A entre el núcleo interno 328A y la capa externa 330A. Las cuatro fibras ópticas también están separadas uniformemente alrededor del eje central, por ejemplo, están separadas radialmente por alrededor de 90°. Como se ilustra en la FIG. 3B, las fibras ópticas 323e-g se colocan muy cerca de la superficie externa del elemento de resistencia 326B y están separadas radialmente por alrededor de 120°. La colocación muy cerca de la superficie externa puede ser ventajosa para la detección temprana de fracturas que se producen (por ejemplo, se inician) en la superficie externa. Sin embargo, las fibras ópticas 232e-g no deben colocarse tan cerca de la superficie externa que estén expuestas y sujetas a daños, por ejemplo, debido al contacto directo con la capa conductora externa. La FIG. 3C ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326C, donde cuatro fibras ópticas 323h-323k están incrustadas en el núcleo interno 328C. La FIG. 3D ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326D en donde las cinco fibras ópticas se colocan en la interfaz 329D entre el núcleo interno 328D y la capa externa 330D. Las cinco fibras ópticas están sustancialmente equidistantes de un eje central del elemento de resistencia y están sustancialmente separadas por igual, es decir, separadas radialmente por alrededor de 72°. La FIG. 3D ilustra que el elemento de resistencia puede incluir cualquier cantidad de fibras ópticas, incluyendo cinco o más fibras ópticas. La FIG. 3E ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326E donde las fibras ópticas de un primer grupo están dispuestas a una primera distancia de un eje central del elemento de resistencia, y las fibras ópticas de un segundo grupo están dispuestas a una segunda distancia del eje central, donde la segunda distancia es diferente de la primera distancia. La FIG. 3F ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326F en donde una fibra óptica se dispone a lo largo de un eje central del elemento de resistencia 326F y está rodeada por fibras ópticas que están separadas del eje central. Se apreciará que la disposición de las fibras ópticas dentro del elemento de resistencia ilustrado en las FIGS. 3A a 3F son meramente ejemplos de posibles disposiciones, y la presente descripción no se limita a estas disposiciones particulares.

Como se señaló anteriormente, puede ser ventajoso formar una superficie de extremo lisa para facilitar la transmisión de luz dentro y fuera de la fibra óptica, por ejemplo, puliendo la superficie de extremo. Se ha encontrado que muchas fibras ópticas disponibles comercialmente incluyen dos o más capas poliméricas que rodean el núcleo transmissivo y la capa de revestimiento, a saber, una capa interna de un material polimérico relativamente blando y una capa externa de un polímero más duro para la protección del núcleo de vidrio. La función de la capa de polímero más suave es reducir las pérdidas de luz debido a la microflexión de la fibra óptica en ciertas aplicaciones. Sin embargo, se ha descubierto que cuando una superficie de extremo de un elemento de resistencia, que incluye un extremo de la fibra óptica, se somete a pulido, la capa de polímero más blanda puede desplazarse y recubrir al menos parcialmente el núcleo de vidrio transmissivo de la fibra óptica debido a la acción mecánica de y/o el calor generado por el proceso de pulido. Incluso una pequeña cantidad de recubrimiento por el polímero desplazado puede inhibir la transmisión de luz dentro y/o fuera de la fibra óptica. Por lo tanto, en una caracterización, las fibras ópticas no incluyen una capa de polímero más suave. Por ejemplo, la fibra óptica puede incluir un núcleo de vidrio transmissivo y una capa de revestimiento para la transmisión de la luz, y una única capa de polímero protectora (por ejemplo, dura) que rodea el núcleo de vidrio y el revestimiento, por ejemplo, sin capa de material intermedia. Como resultado, la tendencia a recubrir el extremo del núcleo de vidrio con polímero desplazado se reducirá o eliminará, y se mejorará la transmitancia de luz dentro y fuera de la fibra óptica. En una caracterización, la capa polimérica protectora única tendrá un módulo de tracción de al menos alrededor de 1000 MPa, tal como hasta alrededor de 4500 MPa. Los ejemplos de dichos polímeros pueden incluir polímeros y poliimidas a base de acrilato. En otra caracterización, la fibra óptica puede estar libre de cualquier capa polimérica (por ejemplo, protectora).

Los elementos de resistencia descritos anteriormente pueden fabricarse por medios conocidos por los expertos en la técnica, incluidos los métodos descritos en las patentes estadounidenses enumeradas anteriormente. En un ejemplo particular, el elemento de resistencia se forma mediante un proceso de pultrusión mediante el cual se tira de estopas de fibras de refuerzo continuas (por ejemplo, fibras de carbono y vidrio) a través de un material de matriz de unión (por ejemplo, a través de un baño de resina epoxi), que posteriormente se cura para unir las fibras y formar un compuesto reforzado con fibra. Las fibras ópticas son proporcionadas por el fabricante en longitudes continuas (por ejemplo, de muchos miles de metros) en carretes de una manera similar a las estopas de fibra (por ejemplo, estopas de fibra de carbono y estopas de fibra de vidrio). Por lo tanto, las fibras ópticas se pueden integrar en el proceso de pultrusión junto con las fibras de refuerzo sin gran dificultad.

Por lo tanto, un ejemplo de la presente descripción se refiere a un método para la fabricación de un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado que se configura para su uso en un miembro de resistencia. El método puede incluir los pasos de formar un compuesto reforzado con fibra alargado que tiene un eje central longitudinal, y que comprende una matriz de unión y una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas en la matriz de unión. Al menos una primera fibra óptica está incrustada en el material compuesto reforzado con fibra, por ejemplo, durante la formación del material compuesto, de modo que la fibra óptica se extiende desde un primer extremo del material compuesto hasta el segundo extremo del material compuesto. Por ejemplo, las fibras ópticas pueden integrarse en un proceso de pultrusión en el que las estopas de fibra de refuerzo se impregnan con una resina que se cura a partir de la matriz de unión. Las fibras ópticas se proporcionan típicamente en carretes (bobinas) de una manera similar a las estopas de fibra de refuerzo y, por lo tanto, se pueden extraer a través de un sistema de pultrusión de una manera similar. En un ejemplo, las fibras ópticas se proporcionan con una o más capas de polímero y las capas de polímero se retiran antes de que las fibras ópticas se combinen con las fibras de refuerzo y se impregnen con una resina. Por ejemplo, las fibras ópticas pueden someterse a una etapa de tratamiento térmico para eliminar (por ejemplo, volatilizar) la capa de polímero. En un ejemplo, la etapa de tratamiento térmico incluye dirigir un láser a la fibra óptica justo antes de que la fibra óptica se mezcle con las fibras de refuerzo.

Como se señaló anteriormente, las fibras ópticas pueden estar orientadas linealmente (por ejemplo, colineales con el eje longitudinal central del elemento de resistencia), o pueden estar envueltas (por ejemplo, enrolladas helicoidalmente) con respecto al eje longitudinal central del elemento de resistencia.

Después de la formación (por ejemplo, por pultrusión) de una longitud adecuada del compuesto reforzado con fibra, el compuesto se corta cerca del primer extremo del compuesto para formar una primera superficie de extremo cortada que es sustancialmente plana. El extremo cortado se pule para formar un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra alargado que tiene una primera superficie de extremo pulida, la primera superficie de extremo pulida comprende un compuesto reforzado con fibra y un primer extremo de la fibra óptica. Como resultado del método anterior, el extremo pulido del elemento de resistencia, incluida la fibra óptica, tendrá la capacidad de recibir y transmitir luz de manera eficiente a través de la fibra óptica, por ejemplo, sin requerir que la fibra óptica esté físicamente aislada del compuesto reforzado con fibra circundante.

Como se discutió anteriormente, el elemento de resistencia puede incluir una o una pluralidad (por ejemplo, cuatro o más) de las fibras ópticas, y la pluralidad de fibras ópticas puede configurarse (por ejemplo, incrustarse dentro) del compuesto reforzado con fibra para mejorar la probabilidad de que las fibras ópticas se rompan debido a una fractura u otro defecto en el compuesto circundante. Por lo tanto, el método anterior puede incluir incrustar una pluralidad de fibras ópticas, por ejemplo, dos o más fibras ópticas, como se describió anteriormente.

En un proceso de pultrusión, después de que la matriz de unión se haya curado lo suficiente, el compuesto reforzado con fibra pultrusionado se recoge típicamente en un carrete. Como la longitud de las estopas de fibra y las fibras ópticas excede en gran medida la longitud del material compuesto que se puede almacenar en un carrete, el material compuesto alargado se corta eventualmente antes de que se exceda la capacidad de almacenamiento del carrete. Típicamente, dicho corte se realiza mediante una simple acción de cizallamiento (por ejemplo, usando cortadores de pernos) o una sierra dentada (serrada) que da como resultado un extremo áspero y astillado del compuesto reforzado con fibra. De acuerdo con un ejemplo, puede ser deseable interrogar al elemento de resistencia mientras el elemento de resistencia está dispuesto en el carrete. Por consiguiente, el compuesto reforzado con fibra puede envolverse en el carrete de tal manera que tanto el primer como el segundo extremo del compuesto estén expuestos, por ejemplo, ambos extremos están separados de la mayor parte del compuesto bobinado, a menudo colocando uno o ambos extremos a través de una abertura lateral en el carrete. Por lo tanto, en un ejemplo, al menos un extremo, y preferentemente ambos extremos del compuesto reforzado con fibra, se cortan y pulen para formar el elemento de resistencia (por ejemplo, como se describió anteriormente) de modo que el sistema y método de interrogación se puedan aplicar al elemento de resistencia mientras el elemento de resistencia se dispone en el carrete.

En un ejemplo, el fabricante del elemento de resistencia puede desear "probar la tensión" del elemento de resistencia antes de que se envíe el elemento de resistencia, por ejemplo, antes de que el elemento de resistencia se envíe a una instalación de trenzado para el trenzado de un miembro de resistencia formado a partir del elemento de resistencia con un conductor para formar un cable eléctrico. Dicha prueba de resistencia puede incluir desenrollar el elemento de resistencia de un carrete y enrollarlo en otro carrete, donde el elemento de resistencia se enhebra a través de una o más ruedas (por ejemplo, poleas pequeñas) entre los dos carretes. La selección adecuada del tamaño de la rueda y la colocación de la rueda hace que se aplique una tensión conocida al elemento de resistencia para confirmar que el elemento de resistencia no se fractura bajo esa tensión conocida, por ejemplo, para confirmar que no hay defectos de fabricación significativos en el elemento de resistencia. Por lo tanto, de acuerdo con un ejemplo, el sistema y método para la interrogación del elemento de resistencia se aplica al elemento de resistencia después de la prueba de esfuerzo para determinar si el elemento de resistencia pasó la prueba de resistencia, por ejemplo, para determinar si el elemento de resistencia se fracturó durante la prueba de resistencia. Por ejemplo, el sistema y el método se pueden aplicar después de la prueba de esfuerzo cuando el elemento de resistencia se envuelve en el segundo carrete. Si se determina que el elemento de resistencia pasó la prueba de resistencia utilizando el sistema y el método de interrogación, el elemento de resistencia bobinado puede enviarse para su trenzado.

En cualquier caso, en un ejemplo, el paso de corte puede llevarse a cabo de una manera que tenga una alta probabilidad de formar una superficie de extremo ortogonal como se discutió anteriormente. Por ejemplo, el paso de corte puede incluir cortar el compuesto reforzado con fibra con un borde de corte accionado mecánicamente (por ejemplo, eléctrico). Un borde de corte arenoso, uno que corta a través de un material principalmente debido a la presencia de grano abrasivo (es decir, un material particulado de alta dureza) en el borde de corte, generalmente se prefiere sobre un borde de corte que incluye dientes de corte. Aunque no se excluye el uso de dientes de corte finos para cortar el compuesto reforzado con fibra, se cree que los dientes de corte dejarán una superficie más rugosa que el grano abrasivo, lo que dará como resultado un paso de pulido más difícil (por ejemplo, que consume más tiempo) después del paso de corte. En una caracterización, el borde de corte granulado comprende grano abrasivo que tiene un tamaño que es súper fino o más grueso, por ejemplo, un tamaño de al menos alrededor de 30 μm (alrededor de grano 600), tal como al menos alrededor de 40 μm (alrededor de grano 360) o incluso al menos alrededor de 68 μm (alrededor de grano 220). Se apreciará que la selección de la arenilla de corte se puede realizar teniendo en cuenta la velocidad (por ejemplo, la velocidad de rotación) del borde de corte y el deseo de un corte y pulido rápidos, es decir, una arenilla más gruesa puede cortar más rápido, pero puede necesitar un tiempo de pulido posterior más largo.

Para formar una superficie de extremo sustancialmente ortogonal como se describe en ciertas caracterizaciones anteriores, el paso de corte puede incluir asegurar (por ejemplo, asegurar mecánicamente) el primer extremo del compuesto reforzado con fibra de manera que el primer extremo esté sustancialmente dispuesto ortogonalmente con respecto al borde de corte (por ejemplo, a la cuchilla de corte) durante el paso de corte. Por ejemplo, el compuesto reforzado con fibra puede sujetarse mecánicamente de modo que el compuesto esté dispuesto ortogonalmente al borde de corte y no pueda moverse fuera del eje de ninguna manera apreciable durante el paso de corte.

Después del corte, la superficie final se puede pulir para proporcionar una superficie final lisa. Por ejemplo, el paso de pulido puede incluir pulir la superficie del extremo cortado con una superficie de pulido. Por ejemplo, la superficie de pulido puede incluir grano abrasivo que tiene un tamaño ultrafino, por ejemplo, un tamaño de grano no mayor que alrededor de 25 μm (grano 800) o incluso no mayor que alrededor de 22 μm (grano 1000). Caracterizado de otra manera, el paso de pulido se puede realizar con grano abrasivo que es más pequeño que el grano abrasivo utilizado en el paso de corte.

Como se señaló anteriormente, algunas fibras ópticas están provistas por el fabricante de una capa de polímero

blando para reducir las pérdidas por microcurvatura, y dicho polímero blando puede recubrir el extremo del núcleo transmisor de fibra óptica durante los pasos de corte y/o pulido. Si la fibra óptica incluye dicha capa, una técnica para reducir o eliminar dicho sobrerrecubrimiento es endurecer temporalmente la capa de polímero blando para reducir su susceptibilidad a ser desplazada y sobrerrecubrir el núcleo transmisor de la fibra óptica. Por ejemplo, la superficie final puede enfriarse antes y/o durante el paso de corte y pulido para endurecer la capa de polímero. En una caracterización, la superficie final se enfría mediante la aplicación de un líquido enfriado o gas enfriado a la superficie final. Los ejemplos incluyen la aplicación de un gas comprimido (por ejemplo, gas nitrógeno comprimido, gas dióxido de carbono, gas hidrocarburo, freón o similares) a la superficie final antes y/o durante los pasos de corte y pulido.

El método de formación de la superficie de extremo del elemento de resistencia se describe anteriormente como que incluye cortar y pulir mecánicamente el extremo del compuesto reforzado con fibra, por ejemplo, usando un borde de corte y una superficie de pulido. Sin embargo, se contempla que un elemento de resistencia que tiene la superficie final deseada puede formarse por otros medios. Por ejemplo, se puede utilizar un chorro de agua o un láser para obtener una superficie final que tenga las propiedades deseables para una transmisión de luz eficaz en los sistemas y métodos de interrogación descritos en la presente.

Lo anterior describe la fabricación de un elemento de resistencia que tiene una o más superficies de extremo que están configuradas (por ejemplo, cortadas y pulidas) para facilitar la transmisión de luz dentro y fuera de una fibra óptica incrustada en el elemento de resistencia. Esto permite al fabricante del elemento de resistencia interrogar al elemento de resistencia antes de que se envíe al usuario final, o se envíe a un intermediario, como una instalación que enhebra el elemento de resistencia con un conductor para formar un cable eléctrico. El sistema y el método también pueden implementarse en otros puntos, además o en lugar del fabricante. Dicha implementación puede requerir que el usuario final y/o el intermediario también preparen los extremos del elemento de resistencia de acuerdo con la descripción anterior. Por ejemplo, como se señaló anteriormente, cuando un miembro de resistencia (por ejemplo, que incluye uno o más elementos de resistencia) se trenzó con un conductor eléctrico para formar un cable eléctrico, el miembro de resistencia se sacó de un carrete y se trenzó con hebras conductoras. Debido a que las hebras conductoras agregan volumen además del volumen del miembro de resistencia, la longitud del cable eléctrico que se puede almacenar en un carrete se reduce en comparación con la capacidad del carrete para un miembro de resistencia solo. Por lo tanto, el miembro de resistencia debe cortarse en algún momento, por ejemplo, cuando el carrete del cable eléctrico alcanza su capacidad. Como resultado, el trenzador puede desear preparar los extremos del elemento de resistencia de acuerdo con los métodos anteriores para permitir que el trenzador, o el cliente del trenzador, interroge el cable eléctrico después de que el cable eléctrico se enrolle en un carrete.

De manera similar, como se describió anteriormente, cuando se instala el miembro de resistencia (por ejemplo, cuando un cable eléctrico aéreo que incluye el miembro de resistencia se ensarta en las torres de soporte), la longitud del cable eléctrico debe cortarse muchas veces para adaptarse a las distancias entre las torres de soporte, particularmente teniendo en cuenta los giros (por ejemplo, ángulos) en el enrutamiento de la línea eléctrica. Por lo tanto, en algunos ejemplos, los elementos de resistencia pueden cortarse y pulirse de acuerdo con los métodos anteriores durante la instalación del cable eléctrico en las torres de soporte.

En un ejemplo de la presente descripción, se describe una herramienta que es particularmente útil para cortar y pulir un elemento de resistencia. La herramienta está configurada para cortar y pulir el extremo de un compuesto reforzado con fibra en un solo paso, reduciendo así la cantidad de esfuerzo y el potencial de errores al cortar y pulir para formar un elemento de resistencia para la interrogación. La herramienta incluye un cuerpo plano, el cuerpo plano tiene un borde de corte a lo largo de al menos un borde del cuerpo plano, y una superficie de pulido que cubre al menos una parte del cuerpo plano. Un miembro de alineación está asociado operativamente con el cuerpo plano y está configurado para alinear operativamente un compuesto reforzado con fibra alargado que tiene un eje longitudinal con el cuerpo plano, de modo que el borde de corte del cuerpo plano está configurado para mover y cortar el compuesto sustancialmente ortogonal al eje longitudinal para formar una superficie de corte, y la superficie de pulido está configurada para pulir la superficie de corte a medida que el borde de corte se mueve a través del compuesto.

El cuerpo plano que realiza el corte y el pulido puede adoptar una variedad de formas, por ejemplo, una superficie poligonal en movimiento continuo como la que se puede encontrar en una lijadora de banda. En una caracterización, el cuerpo plano es sustancialmente circular y se gira (por ejemplo, mediante un motor eléctrico) para cortar el compuesto reforzado con fibra. A este respecto, el motor puede estar conectado operativamente al cuerpo plano, donde el motor está configurado para girar rápidamente el cuerpo plano alrededor de un eje central del cuerpo plano. Aunque el borde de corte puede incluir una pluralidad de dientes de corte, es ventajoso formar el borde de corte con una superficie arenosa, como se describió anteriormente, para minimizar la formación de un extremo rugoso y/o astillado del compuesto. En una caracterización, el borde de corte granulado comprende grano abrasivo que tiene un tamaño que es súper fino o más grueso, por ejemplo, un tamaño de al menos alrededor de 30 μm (alrededor de grano 600), tal como al menos alrededor de 40 μm (alrededor de grano 360) o incluso al menos alrededor de 68 μm (alrededor de grano 220). Se apreciará que la selección del grano abrasivo de corte se puede hacer teniendo en cuenta la velocidad (por ejemplo, la velocidad de rotación) del borde de corte y el deseo

de un corte y pulido rápidos, es decir, un grano abrasivo más grueso puede cortar más rápido, pero puede requerir un tiempo de pulido más largo.

5 El cuerpo plano incluye una superficie de pulido que cubre toda la superficie del cuerpo plano, o solo una parte del mismo. La superficie de pulido puede incluir grano abrasivo que tiene un tamaño ultrafino, por ejemplo, un tamaño de grano no mayor que alrededor de 25 μm (grano 800) o incluso no mayor que alrededor de 22 μm (grano 1000). Caracterizado de otra manera, la superficie de pulido puede comprender grano abrasivo que es más fino que el grano abrasivo utilizado en el borde de corte. En una caracterización, la superficie de pulido incluye al menos dos tamaños de grano abrasivo diferentes, donde se aplica un grano más grueso más cerca de una porción exterior de la superficie de pulido y se aplica un grano más fino más cerca de una porción central de la superficie de pulido. De esta manera, la superficie de corte puede encontrarse primero con el grano de pulido más grueso para eliminar rápidamente las características de superficie más grandes, y luego encontrarse con el grano de pulido más fino para eliminar las características de superficie más pequeñas.

15 Para facilitar la aplicación de una pequeña cantidad de presión en la superficie final del compuesto reforzado con fibra por la superficie de pulido, la superficie de pulido puede elevarse ligeramente por encima de la superficie subyacente del cuerpo plano. Por ejemplo, la superficie de pulido puede elevarse por encima de la superficie del cuerpo plano en al menos alrededor de 0,1 mm, tal como al menos alrededor de 0,3 mm y no más de alrededor de 1,2 mm, tal como no más de alrededor de 1,0 mm. Por ejemplo, la superficie de pulido puede comprender grano abrasivo que se dispone sobre un sustrato delgado (por ejemplo, un sustrato de papel) que se une (por ejemplo, se adhiere) a una superficie plana por lo demás lisa. Alternativamente, o además de la superficie de pulido elevada, la herramienta puede incluir un mecanismo (por ejemplo, un resorte) que está configurado para empujar la superficie de pulido hacia el extremo del compuesto reforzado con fibra que se está puliendo.

25 La herramienta puede ser ventajosamente una herramienta de mano, por ejemplo, una herramienta que puede ser transportada y manipulada por un operador en una variedad de entornos. Por ejemplo, durante la instalación de un cable eléctrico aéreo, es necesario cortar el cable eléctrico mientras el operador se encuentra muy por encima del suelo, a menudo en un cucharón móvil verticalmente. Proporcionar una herramienta que se pueda transportar fácilmente en un espacio tan pequeño y que pueda ser manipulada por el operador proporciona una ventaja significativa. En este sentido, la herramienta puede incluir una batería para impulsar el movimiento del cuerpo plano, por ejemplo, el movimiento del borde de corte y la superficie de pulido. La batería puede ser, por ejemplo, una batería recargable. Por ejemplo, para mejorar la portabilidad y la facilidad de uso de la herramienta, se puede utilizar una batería que tenga una capacidad en el intervalo de alrededor de 2 amperios-hora a alrededor de 12 amperios-hora. En otra caracterización, la batería puede tener un voltaje de entre alrededor de 12 voltios y alrededor de 20 voltios. Las baterías que tienen estas características pueden proporcionar una potencia adecuada para que la herramienta funcione de manera confiable durante un período de tiempo razonable, mientras se mantiene la herramienta en una forma que un operador pueda transportar y manipular fácilmente.

40 La herramienta también puede incluir una parte de agarre (por ejemplo, un mango) para facilitar el agarre por parte del operador y la libre manipulación de la herramienta, por ejemplo, en la naturaleza de un taladro de mano.

45 Ciertos compuestos reforzados con fibra pueden incluir materiales (por ejemplo, fibras de carbono) que podrían presentar un peligro para un operador a medida que el borde de corte y la superficie de pulido eliminan el material de la superficie en forma de polvo. En una caracterización, la herramienta incluye un mecanismo que está configurado para capturar el polvo que se genera durante el corte y el pulido. Por ejemplo, el mecanismo puede acoplarse al cuerpo plano de modo que se cree un vacío parcial para capturar el polvo a medida que el cuerpo plano se mueve, por ejemplo, a medida que el cuerpo plano gira.

50 Se apreciará que la herramienta de corte y pulido descrita en la presente puede tener una amplia variedad de aplicaciones, y no se limita al corte y pulido de materiales compuestos reforzados con fibra para formar elementos de resistencia como se describió anteriormente.

55 Los elementos de resistencia descritos anteriormente que tienen una o más fibras ópticas dispuestas en ellos pueden tener uso en muchas aplicaciones diferentes, particularmente como miembros de resistencia a la tracción en diversas estructuras. En una realización de la presente descripción, los elementos de resistencia se utilizan en miembros de resistencia para cables eléctricos aéreos.

60 En una realización, se describe un método para la interrogación de un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra configurado para su uso con un cable eléctrico aéreo. El miembro de resistencia incluye un elemento de resistencia formado a partir de un compuesto reforzado con fibra, el compuesto incluye una matriz de unión y una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas operativamente dentro de la matriz de unión. Como se describió anteriormente, al menos una primera fibra óptica está incrustada en el compuesto y se extiende a lo largo de una longitud del compuesto reforzado con fibra. El método de interrogación incluye los pasos de unir operativamente un dispositivo de transmisión de luz a un primer extremo del miembro de refuerzo, unir operativamente un dispositivo de detección de luz a un segundo extremo del miembro de refuerzo, transmitir luz desde el dispositivo de transmisión de luz a través de la primera fibra óptica y hacia el dispositivo de detección de luz, y detectar la luz

transmitida por el dispositivo de detección de luz. En una caracterización, si la luz transmitida no se detecta desde una o más de las fibras ópticas, se puede realizar una evaluación adicional de la integridad estructural del miembro de resistencia, ya que la ausencia de luz transmitida desde una o más de las fibras ópticas puede indicar que la integridad estructural del miembro de resistencia se ha visto comprometida.

La luz transmitida puede abarcar la luz a través de un amplio espectro. Por ejemplo, la luz visible (por ejemplo, que tiene una longitud de onda de alrededor de 400 nm a alrededor de 700 nm) puede ser adecuada para longitudes más cortas de un elemento de resistencia compuesto, o si la luminosidad de la fuente de luz es muy alta. Sin embargo, la luz visible puede estar demasiado atenuada para la mayoría de las aplicaciones, particularmente en grandes longitudes.

Ventajosamente, la longitud de onda de la luz transmitida puede estar principalmente en la región infrarroja. Por ejemplo, la longitud de onda de la luz transmitida (por ejemplo, la longitud de onda máxima) puede ser de al menos alrededor de 700 nm, tal como al menos alrededor de 800 nm. Además, la longitud de onda de la luz transmitida puede no ser mayor que alrededor de 1200 nm, tal como no mayor que alrededor de 1000 nm. Se cree que la luz que tiene una longitud de onda superior a alrededor de 1200 nm será difícil de detectar en el segundo extremo del elemento de resistencia utilizando sensores de luz convencionales, como un sensor de luz CCD o CMOS. Es una ventaja particular que la fuente de luz pueda ser una fuente de luz incoherente, por ejemplo, en comparación con una fuente de luz coherente (por ejemplo, monofásica) tal como un láser. El uso de láseres puede ser un desafío, ya que los láseres requieren un fuerte acoplamiento a una fibra óptica individual debido al pequeño diámetro de la luz coherente. Por el contrario, el método descrito en la presente puede utilizar ventajosamente una fuente de luz incoherente tal como un diodo emisor de luz (LED), una lámpara halógena o similares.

En una caracterización, la fuente de luz es un LED y el paso de transmitir la luz comprende energizar el LED, por ejemplo, usando una batería u otra fuente de energía. Los LED son razonablemente económicos y mecánicamente robustos. Debido a que el elemento de resistencia puede incluir varias fibras ópticas dispuestas en diferentes posiciones a través de la sección transversal del elemento de resistencia, es deseable transmitir la luz hacia sustancialmente toda la sección transversal del elemento de resistencia de modo que se transmita suficiente luz en todas las fibras ópticas para la detección en el extremo opuesto del elemento de resistencia. En una caracterización, esto se logra moviendo la fuente de luz (por ejemplo, el LED) mientras se transmite la luz. Por ejemplo, la fuente de luz puede girarse (por ejemplo, girarse mecánicamente usando un motor) o accionarse de otro modo (por ejemplo, moverse hacia adelante y hacia atrás, u oscilar) a medida que se transmite la luz. En una caracterización particular, la fuente de luz se hace girar a una velocidad de al menos alrededor de 5 rpm (revoluciones por minuto), tal como al menos alrededor de 10 rpm, a medida que la luz se transmite hacia el extremo del elemento de resistencia.

En una realización, el elemento de resistencia puede tener las características sustancialmente como se describió anteriormente, y puede fabricarse como se describió anteriormente. Por ejemplo, la superficie de extremo del elemento de resistencia puede incluir el compuesto reforzado con fibra y la fibra o fibras ópticas, donde la fibra o fibras ópticas no se extienden más allá de la superficie de extremo. La superficie del extremo puede estar pulida.

Alternativamente, o además de lo anterior, se puede colocar un material que coincida con el índice (por ejemplo, un fluido tal como un gel) en la superficie del extremo (por ejemplo, en el extremo de las fibras ópticas) para mejorar la transmisión de luz dentro y/o fuera de las fibras ópticas. Un material que coincide con el índice es un material fluido que tiene un índice de refracción que es igual o muy similar al índice de refracción de otro material, por ejemplo, del núcleo transmisivo de la fibra óptica, a la longitud de onda de interés, ya que una reducción en la longitud de onda conduce a un índice de refracción más alto. En una realización, el método incluye colocar una pequeña cantidad de gel de coincidencia de índice en la superficie del extremo del elemento de resistencia antes de la transmisión de la luz, donde el gel de coincidencia de índice tiene un índice de refracción que es sustancialmente el mismo que el índice de refracción del núcleo de fibra óptica. En una realización, el material de coincidencia de índices tiene un índice de refracción que es al menos aproximadamente 1.40, tal como al menos alrededor de 1.42 o incluso al menos alrededor de 1.44. El índice de refracción del material de coincidencia de índices puede no ser mayor que alrededor de 1,50, tal como no mayor que alrededor de 1,48. Se ha encontrado que incluso una pequeña cantidad de gel que coincide con el índice colocado en la superficie del extremo puede mejorar en gran medida la transmisión de luz en las fibras ópticas.

El método de interrogación puede implementarse después de la fabricación del elemento de resistencia, por ejemplo, cuando el elemento de resistencia se dispone en un carrete. También se puede implementar después de una prueba de esfuerzo (por ejemplo, una prueba de flexión), como se describió anteriormente. Puede implementarse después de la fabricación de un producto final (por ejemplo, después de trenzado de los elementos de resistencia con un conductor), y puede implementarse después de la instalación, por ejemplo, la instalación del cable eléctrico aéreo, para garantizar la integridad estructural del cable eléctrico.

En otra realización, se describe un sistema para la interrogación de un elemento de resistencia. Aunque no se limita a esto, el sistema se puede utilizar para implementar el método anterior para la interrogación de un elemento de resistencia. El sistema está configurado para la detección de un defecto en un miembro de resistencia reforzado

con fibra que es un componente del cable eléctrico aéreo. En esta realización, el sistema incluye un cable eléctrico aéreo, el cable eléctrico aéreo comprende un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra. El miembro de resistencia incluye una matriz de unión, una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas operativamente dentro de la matriz de unión para formar una sección compuesta reforzada con fibra, al menos una primera fibra óptica dispuesta completamente dentro de la sección compuesta reforzada con fibra y a lo largo de una longitud del miembro de resistencia. Un conductor eléctrico dispuesto alrededor y soportado por el miembro de resistencia para formar el cable eléctrico. Un dispositivo de transmisión de luz está conectado operativamente a un primer extremo del miembro de resistencia, donde el dispositivo de transmisión de luz comprende una fuente de luz que está configurada para transmitir luz al primer extremo de la fibra óptica. La luz tiene una longitud de onda de al menos alrededor de 300 nm y no mayor que alrededor de 1700 nm. Un dispositivo de detección de luz está conectado operativamente a un segundo extremo del miembro de resistencia e incluye un sensor de luz que está configurado para detectar la luz del dispositivo de transmisión de luz a través de un segundo extremo de la fibra óptica.

Como se discutió anteriormente, la fuente de luz puede configurarse para emitir luz que tenga una longitud de onda en la región infrarroja, por ejemplo, que tenga una longitud de onda de al menos alrededor de 700 nm, tal como al menos alrededor de 800 nm. Además, la fuente de luz puede configurarse para emitir luz que tiene una longitud de onda no mayor que alrededor de 1200 nm, tal como no mayor que alrededor de 1000 nm. La fuente de luz puede ser cualquier fuente de luz incoherente útil, que incluye, de modo no limitativo, una lámpara halógena o un LED. Ventajosamente, la fuente de luz puede incluir una pluralidad de LED (por ejemplo, paneles LED) que se ensamblan para aumentar el área (por ejemplo, el área de la sección transversal) sobre la cual se transmite la luz. La fuente de luz también puede estar unida operativamente a un mecanismo tal como un motor que está configurado para mover (por ejemplo, girar u oscilar) la fuente de luz a medida que la fuente de luz transmite luz. De esta manera, se transmite una columna o haz de luz sustancialmente homogéneo hacia la superficie final del elemento de resistencia, lo que aumenta sustancialmente la probabilidad de que cada fibra óptica en el elemento de resistencia reciba una cantidad suficiente de luz para ser detectada en el segundo extremo del elemento de resistencia.

La fuente de luz puede ser alimentada por cualquier medio convencional. En una realización, la fuente de luz es alimentada por una batería, por ejemplo, una batería recargable. Por ejemplo, para mejorar la portabilidad y la facilidad de uso de la fuente de luz, se puede utilizar una batería que tenga una capacidad en el intervalo de alrededor de 2 amperios-hora a alrededor de 12 amperios-hora. En otra caracterización, la batería puede tener un voltaje de entre alrededor de 12 voltios y alrededor de 20 voltios. Las baterías que tienen estas características pueden proporcionar una energía adecuada para que la fuente de luz funcione de manera confiable durante un período de tiempo razonable, mientras se mantiene la fuente de luz en una forma que un operador pueda transportar y manipular fácilmente.

La fuente de luz también puede estar separada del extremo del elemento de resistencia durante el uso. A pesar de estar separada, la luz de la fuente de luz será capaz de pasar a la(s) fibra(s) óptica(s) debido a la estructura del extremo del elemento de resistencia, como se discutió anteriormente. En una caracterización, la fuente de luz (por ejemplo, la superficie frontal de la fuente de luz) está separada de la superficie final del elemento de resistencia durante el uso en al menos alrededor de 0,1 mm, tal como al menos alrededor de 1,0 mm. En otra caracterización, la fuente de luz está separada de la superficie de extremo en no más de alrededor de 150 mm, tal como en no más de alrededor de 100 mm, tal como en no más de alrededor de 30 mm.

El miembro de resistencia puede incluir uno o más elementos de resistencia como se describió anteriormente, incluyendo elementos de resistencia que tienen una pluralidad de fibras ópticas dispuestas en el material compuesto, tal como al menos alrededor de dos, al menos alrededor de tres o al menos alrededor de 4 fibras ópticas. El miembro de resistencia puede tener un rango de longitudes como se discutió anteriormente, y puede implementarse en diferentes puntos durante la fabricación e instalación del miembro de resistencia.

El dispositivo de detección de luz puede incluir un sensor de luz para la detección de la luz transmitida. Aunque en algunas circunstancias puede ser posible que un usuario examine la luz directamente (por ejemplo, a simple vista), un dispositivo de detección de luz que incluye un sensor de luz puede permitir la detección de luz relativamente débil y puede permitir el registro de imágenes y/o datos para análisis remoto y/o con fines de archivo. Por ejemplo, el sensor de luz puede ser un dispositivo de carga acoplada (CCD) o un dispositivo complementario de metal-óxido-semiconductor (CMOS). El dispositivo de detección de luz puede incluir, por ejemplo, una lente cóncava que está dispuesta entre el extremo del miembro de refuerzo compuesto y el sensor de luz y está configurada para enfocar la luz transmitida sobre el sensor de luz. El sensor de luz también se puede conectar a un dispositivo informático para analizar y/o mostrar la imagen creada por el sensor. La conexión puede ser una conexión por cable, o puede ser una conexión inalámbrica facilitada mediante el uso de una antena, por ejemplo.

A continuación, se describen ejemplos no limitativos de un dispositivo de transmisión de luz y un dispositivo de detección de luz que se pueden usar en el sistema anterior o un sistema similar.

En un ejemplo, se describe un dispositivo para la transmisión de luz en un extremo de una fibra óptica que está incrustada en un miembro estructural alargado (por ejemplo, un elemento de resistencia como se describe en la

- 5 presente). El dispositivo puede incluir un cuerpo estructural sustancialmente rígido y un orificio dispuesto al menos parcialmente a través del cuerpo estructural y que tiene una abertura en un primer extremo del orificio. La abertura y el orificio están configurados (por ejemplo, conformados y dimensionados) para recibir un extremo de un miembro estructural alargado que tiene al menos una primera fibra óptica incrustada a lo largo de una longitud del miembro estructural. El dispositivo incluye una fuente de luz dispuesta al menos parcialmente dentro del cuerpo estructural y próxima a un segundo extremo del orificio, y la fuente de luz está configurada para transmitir luz al orificio y hacia el extremo del miembro alargado cuando el miembro alargado se coloca en el primer extremo del orificio. Una fuente de energía (por ejemplo, una batería) está conectada operativamente a la fuente de luz.
- 10 En una caracterización, la fuente de luz es una fuente de luz incoherente, por ejemplo, en contraste con una fuente de luz coherente (por ejemplo, una fuente de luz monofásica) tal como un láser. La fuente de luz puede ser, por ejemplo, una lámpara halógena o un LED, y en una caracterización la fuente de luz incluye un LED. El LED puede configurarse para emitir luz dentro de un intervalo de longitud de onda de al menos alrededor de 300 nm y no mayor que alrededor de 1200 nm, tal como una longitud de onda en el intervalo de al menos alrededor de 700 nm
- 15 y no mayor que alrededor de 1000 nm. Se cree que la longitud de onda de más de alrededor de 1200 nm puede ser difícil de detectar utilizando medios de detección de luz convencionales. En una caracterización particular, el LED está configurado para emitir luz principalmente en la región infrarroja, tal como a una longitud de onda primaria de al menos alrededor de 800 nm y no mayor que alrededor de 900 nm.
- 20 En otra caracterización, el dispositivo incluye un motor que está conectado operativamente a la fuente de luz y está configurado para mover la fuente de luz a medida que la fuente de luz transmite luz al orificio, tal como oscilando la fuente de luz o girando la fuente de luz alrededor de un eje central de la fuente de luz.
- 25 En otra caracterización, el dispositivo incluye un elemento de tope que está configurado para mantener una distancia entre la fuente de luz y el extremo del miembro estructural cuando el miembro estructural se coloca en el primer extremo del orificio. Dicha configuración evitará que un operador fuerce el extremo del elemento de resistencia en contacto directo con la fuente de luz, reduciendo la posibilidad de daños a la fuente de luz. El elemento de tope puede configurarse para mantener una distancia entre el extremo del miembro estructural y la fuente de luz de al menos alrededor de 0.1 mm, tal como al menos alrededor de 1.0 mm, y no mayor que alrededor de 150 mm, tal como no mayor que alrededor de 100 mm, o evento no mayor que alrededor de 30 mm. Por ejemplo, el elemento de tope puede comprender un reborde (por ejemplo, un escalón) dispuesto dentro del orificio que está configurado para evitar el movimiento del miembro estructural más allá del reborde cuando el miembro se inserta en el orificio. El elemento de tope también puede comprender una placa transparente (por ejemplo, de vidrio) que está dispuesta entre el extremo del elemento de refuerzo y la fuente de luz, donde el elemento de refuerzo puede empujarse hacia arriba contra la placa de vidrio. En este sentido, se puede aplicar un gel transparente, si es necesario, entre la placa de vidrio y el elemento de resistencia para facilitar la transmisión de la luz a través de la placa y hacia la (s) fibra(s) óptica(s). El elemento de tope también se puede incorporar en la fuente de luz, por ejemplo, donde la superficie de luz emisora se dispone detrás de una placa transparente.
- 30 El orificio puede tener un solo tamaño (por ejemplo, un diámetro permanente), o se puede proporcionar un orificio de diámetro ajustable, por ejemplo, proporcionando manguitos de inserción para acomodar elementos de resistencia de diámetros variables.
- 35 Para proporcionar durabilidad pero mantener un peso relativamente ligero, el cuerpo del dispositivo puede fabricarse de un metal, tal como un metal liviano. En una caracterización, el cuerpo está fabricado de aluminio.
- 40 En otro ejemplo, se describe un dispositivo que está configurado para la detección de luz que emana de un extremo de una fibra óptica que está incrustada en un miembro estructural alargado. El dispositivo incluye un cuerpo estructural sustancialmente rígido y un orificio dispuesto al menos parcialmente a través del cuerpo estructural. El orificio tiene una abertura en un primer extremo del orificio, la abertura y el orificio están configurados (por ejemplo, dimensionados y conformados) para recibir un extremo de un miembro estructural alargado que tiene al menos una primera fibra óptica incrustada a lo largo de una longitud del miembro estructural. Un sensor de luz está dispuesto dentro del cuerpo estructural y cerca de un segundo extremo del orificio, el sensor de luz está configurado para recibir y detectar luz de la fibra óptica cuando el miembro alargado se coloca en el primer extremo del orificio.
- 45 Una fuente de alimentación puede estar conectada operativamente al sensor de luz.
- 50 En una caracterización, el sensor de luz se selecciona de un sensor CCD y un sensor CMOS. En otra caracterización, se dispone un elemento de bloqueo de luz en el primer extremo del orificio. El elemento de bloqueo de luz está configurado para bloquear la entrada de luz parásita (por ejemplo, luz exterior) en el orificio e interferir con la capacidad del sensor de luz para detectar la luz de las fibras ópticas. Por ejemplo, el elemento de bloqueo de luz puede ser un material, tal como un material elastomérico, que está configurado para sellarse alrededor del miembro estructural cuando el miembro estructural se coloca en el orificio.
- 55 Al igual que con el dispositivo de transmisión de luz, el dispositivo de detección de luz puede incluir un elemento de tope para mantener una distancia entre el sensor de luz y el extremo del miembro estructural cuando el miembro estructural se coloca en el primer extremo del orificio. El elemento de tope puede incluir, por ejemplo, un reborde

(por ejemplo, un escalón) dispuesto dentro del orificio que está configurado para evitar el movimiento del miembro estructural más allá del reborde. El elemento de tope puede configurarse para mantener una distancia entre el extremo del miembro estructural y el sensor de luz de al menos alrededor de 5 mm, tal como al menos alrededor de 10 mm, y no mayor que alrededor de 300 mm, tal como no mayor que alrededor de 200 mm o incluso no mayor que alrededor de 100 mm.

En una caracterización, el dispositivo también incluye una lente, tal como una lente cóncava, que está configurada para enfocar la luz que emana de la fibra óptica sobre el sensor de luz. En este sentido, el elemento de tope anterior para mantener una distancia entre el sensor de luz y el extremo del miembro estructural puede mantener una distancia adecuada entre el extremo del miembro estructural y la lente para mejorar la eficacia de la lente.

Al igual que con el dispositivo de transmisión de luz, el cuerpo del dispositivo de detección de luz puede fabricarse de un metal, incluido un metal liviano como el aluminio.

Las siguientes figuras ilustran diferentes ejemplos de acuerdo con la presente descripción, y solo pretenden ilustrar dichos ejemplos y no limitar de otro modo el alcance de la presente descripción.

Con referencia a la FIGS. 3A a 3F, se ilustra una vista transversal de los elementos de resistencia de acuerdo con los ejemplos de la presente descripción. La configuración de las secciones reforzadas con fibra de los elementos de resistencia 326A a 326F es similar al elemento de resistencia ilustrado en la FIG. 2B, e incluye un núcleo interno de fibras de alta resistencia a la tracción rodeado por una capa externa de un material aislante, por ejemplo, un núcleo interno que comprende fibras de carbono rodeado por una capa externa que comprende fibras de vidrio. Como se ilustra en la FIG. 3A, el elemento de resistencia 326A incluye cuatro fibras ópticas 232a-d que están dispuestas concéntricamente en el elemento de resistencia 426 alrededor y separadas del eje central. Como se ilustra en la FIG. 3A, las fibras 323A-d se colocan en o muy cerca de una interfaz 329A entre el núcleo interno 328A y la capa externa 330A. Las cuatro fibras ópticas también están separadas uniformemente alrededor del eje central, por ejemplo, están separadas radialmente por alrededor de 90°. Como se ilustra en la FIG. 3B, las fibras ópticas 323e-g se colocan muy cerca de la superficie externa del elemento de resistencia 326B y están separadas radialmente por alrededor de 120°. La colocación muy cerca de la superficie externa puede ser ventajosa para la detección temprana de fracturas que se producen (por ejemplo, se inician) en la superficie externa. Sin embargo, las fibras ópticas 232e-g no deben colocarse tan cerca de la superficie externa que estén expuestas y sujetas a daños, por ejemplo, debido al contacto directo con la capa conductora externa. La FIG. 3C ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326C, donde cuatro fibras ópticas 323h-323k están incrustadas en el núcleo interno 328C. La FIG. 3D ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326D en donde las cinco fibras ópticas se colocan en la interfaz 329D entre el núcleo interno 328D y la capa externa 330D. Las cinco fibras ópticas están sustancialmente equidistantes de un eje central del elemento de resistencia y están sustancialmente separadas por igual, es decir, separadas radialmente por alrededor de 72°. La FIG. 3D ilustra que el elemento de resistencia puede incluir cualquier cantidad de fibras ópticas, incluyendo cinco o más fibras ópticas. La FIG. 3E ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326E donde las fibras ópticas de un primer grupo están dispuestas a una primera distancia de un eje central del elemento de resistencia, y las fibras ópticas de un segundo grupo están dispuestas a una segunda distancia del eje central, donde la segunda distancia es diferente de la primera distancia. La FIG. 3F ilustra un ejemplo de un elemento de resistencia 326F en donde una fibra óptica se dispone a lo largo de un eje central del elemento de resistencia 326F y está rodeada por fibras ópticas que están separadas del eje central. Se apreciará que la disposición de las fibras ópticas dentro del elemento de resistencia ilustrado en las FIGS. 3A a 3F son meramente ejemplos de posibles disposiciones, y la presente descripción no se limita a estas disposiciones particulares.

Una realización de un sistema de interrogación de acuerdo con la presente descripción se ilustra esquemáticamente en la FIG. 4. En términos generales, el sistema 440 incluye un dispositivo de transmisión de luz 450, un dispositivo de detección de luz 460 y un elemento de resistencia 426, por ejemplo, como se describió anteriormente.

Como se ilustra en la FIG. 4, el elemento de resistencia 426 incluye cuatro fibras ópticas que se extienden longitudinalmente, de las cuales dos fibras ópticas 432a/432b son visibles en la FIG. 4. Las fibras ópticas son fibras ópticas monomodo y se colocan dentro del elemento de resistencia 426, tal como desplazadas del eje central 434, por ejemplo, como se ilustra en la FIG. 3A.

Con referencia a la FIG. 5, se ilustra con más detalle un dispositivo de transmisión de luz 550. El dispositivo 550 incluye un transmisor de luz 552 para transmitir la luz de interrogación. El transmisor 552 incluye una fuente de luz 566 acoplada operativamente a una fuente de energía 568. La fuente de luz 566 es un diodo emisor de luz (LED) que tiene una longitud de onda primaria de alrededor de 850 nm. La fuente de alimentación 568 es una batería para facilitar la movilidad y la comodidad de uso en el campo, por ejemplo, durante o justo después de la instalación del cable eléctrico aéreo. La fuente de luz LED 566 está configurada para girar (por ejemplo, a través de un motor, no ilustrado) de modo que una cantidad suficiente de luz de la fuente de luz 566 entre en cada una de las fibras ópticas. Los componentes del dispositivo de transmisión de luz 550 están encerrados (por ejemplo, sellados) en un cuerpo 558, por ejemplo, fabricados de un metal tal como aluminio o un

plástico para proteger los componentes de daños durante el uso en el campo. El cuerpo 558 incluye un orificio 560 que tiene una abertura en un primer extremo que está configurado para recibir un elemento de resistencia en el orificio 560. Un reborde 564 está dimensionado para evitar que el elemento de resistencia penetre en el orificio hasta un punto en el que el elemento de resistencia entre en contacto con la fuente de luz 566 (véase la FIG. 4). Dicho de otra manera, el reborde 564 mantiene una distancia predeterminada entre el extremo del elemento de resistencia y la fuente de luz 566.

Volviendo a la FIG. 4, el sistema también incluye un dispositivo de detección de luz 460 dispuesto en un extremo del cable eléctrico aéreo 420 opuesto al dispositivo de transmisión de luz 450. Un dispositivo de detección de luz se ilustra con más detalle en la FIG. 6. El dispositivo 660 incluye un sensor de luz 664 para la detección de luz desde el dispositivo de transmisión de luz. Al igual que con el dispositivo de transmisión de luz, los componentes del dispositivo de detección de luz 660 están encerrados (por ejemplo, sellados) en un cuerpo 658, por ejemplo, fabricados de un metal tal como aluminio o un plástico para proteger los componentes de daños durante el uso en el campo. El cuerpo 658 incluye un orificio 670 que tiene una abertura en un primer extremo que está configurado para recibir un elemento de resistencia en el orificio 670. Dispuesto sobre la abertura que conduce al orificio 670 hay un protector de luz 676 fabricado a partir de un material elastomérico que tiene una abertura a través del mismo. Cuando se inserta un miembro de resistencia en el orificio 670, el protector de luz 676 se mueve hacia adentro y forma un sello de luz alrededor de la periferia del elemento de resistencia para reducir la cantidad de luz parásita que puede entrar en el orificio 670 desde el entorno externo.

Un reborde 674 está dimensionado para evitar que el elemento de resistencia penetre en el orificio 670 hasta un punto en el que el elemento de resistencia entre en contacto con el sensor de luz 664 (véase la FIG. 4), ya que el hombro 674 mantiene una distancia predeterminada entre el extremo del elemento de resistencia y el sensor de luz 664. El sensor de luz es un sensor CCD/CMOS, por ejemplo, como se puede encontrar en una cámara digital. Como se ilustra en la FIG. 6, el dispositivo de detección de luz 660 incluye una lente cóncava 662 que dirige la luz recibida desde la fuente de luz al sensor de luz 664. Sin embargo, una lente cóncava de este tipo puede no ser necesaria para una detección de luz adecuada.

Las FIGS. 7A y 7B ilustran una herramienta 700 para el corte y pulido de un elemento de resistencia, o pieza de trabajo similar, de acuerdo con un ejemplo de la presente descripción. La herramienta 700 incluye una cuchilla plana y giratoria 704 que incluye un borde de corte 708 y una superficie de pulido 706. La superficie de pulido 706 se eleva ligeramente (por ejemplo, alrededor de 1 mm) por encima de la superficie 714 de la cuchilla 704. Un miembro de alineación 710 está unido al cuerpo de la herramienta 702 y está configurado para mover (por ejemplo, pivotar alrededor del eje 716) el elemento de resistencia 720 con respecto a la cuchilla de corte 704. El miembro de alineación 710 alinea el elemento de resistencia 720 con la cuchilla de corte 704, de modo que el borde de corte 708 pueda cortar el elemento de resistencia 720 de manera sustancialmente ortogonal al eje longitudinal del elemento de resistencia 720. A medida que el borde de corte se mueve a través del elemento de resistencia, la superficie de pulido 706 pule la superficie recién cortada del elemento de resistencia 720. La herramienta 700 está configurada para ser agarrada por un usuario, que puede accionar la cuchilla de corte 704 usando el botón de activación 712. Una batería recargable 718 proporciona energía a la herramienta.

Si bien se han descrito en detalle varios ejemplos de un sistema, método y herramientas para la interrogación de un elemento de resistencia, es evidente que a los expertos en la técnica se les ocurrirán modificaciones y adaptaciones de esos ejemplos. El asunto para el cual se busca protección está definido por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema configurado para la detección de un defecto en un cable eléctrico aéreo, que comprende:

5 un cable eléctrico aéreo (120A, 120B) que comprende un miembro de resistencia compuesto reforzado con fibra (126, 128) y un conductor eléctrico (122a, 124a, 124b) dispuesto alrededor y soportado por el miembro de resistencia para formar el cable eléctrico, el miembro de resistencia comprende al menos un primer elemento de resistencia (127, 129, 426, 720) que tiene un eje central longitudinal, el primer elemento de resistencia comprende:

10 una matriz de unión;
una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas operativamente dentro de la matriz de unión para formar un compuesto reforzado con fibra;
15 al menos una primera fibra óptica (323, 432) incrustada dentro del compuesto reforzado con fibra y que se extiende desde un primer extremo del elemento de resistencia hasta un segundo extremo del elemento de resistencia, en donde el primer y segundo extremos del elemento de resistencia comprenden cada uno una superficie plana y en donde la primera fibra óptica no se extiende más allá de la superficie plana del primer y segundo extremos del elemento de resistencia; y

20 un dispositivo de transmisión de luz (450, 550) conectado operativamente a un primer extremo del miembro de resistencia, el dispositivo de transmisión de luz comprende una fuente de luz (566) que está conectada operativamente a una fuente de energía (568) y está configurado para transmitir luz que tiene una longitud de onda de al menos alrededor de 300 nm y no mayor que alrededor de 1700 nm en el primer extremo de la primera fibra óptica; y

25 un dispositivo de detección de luz (460, 660) conectado operativamente a un segundo extremo del miembro de resistencia, el dispositivo de detección de luz comprende un sensor de luz (664) que está configurado para detectar la luz transmitida por la fuente de luz a través del segundo extremo de la primera fibra óptica.

30 2. El sistema mencionado en la reivindicación 1, en donde la fuente de luz está configurada para emitir luz que tiene una longitud de onda primaria en la región infrarroja.

35 3. El sistema mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde la fuente de luz está configurada para emitir luz que tiene una longitud de onda primaria de al menos alrededor de 800 nm y no mayor que alrededor de 1000 nm.

40 4. El sistema mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el elemento de resistencia incluye al menos una segunda fibra óptica incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del elemento de resistencia, la segunda fibra óptica está separada del eje central longitudinal del primer elemento de resistencia y se extiende desde el primer extremo del elemento de resistencia hasta el segundo extremo del elemento de resistencia y donde la segunda fibra óptica no se extiende más allá de la superficie plana del primer y segundo extremo del elemento de resistencia.

45 5. El sistema mencionado en la reivindicación 4, en donde el elemento de resistencia incluye al menos una tercera fibra óptica incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del elemento de resistencia, la tercera fibra óptica está separada del eje central longitudinal del primer elemento de resistencia y se extiende desde el primer extremo del elemento de resistencia hasta el segundo extremo del elemento de resistencia y donde la tercera fibra óptica no se extiende más allá de la superficie plana del primer y segundo extremo del elemento de resistencia.

50 6. El sistema mencionado en la reivindicación 5, en donde la primera fibra óptica, la segunda fibra óptica y la tercera fibra óptica están dispuestas alrededor y sustancialmente equidistantes del eje central longitudinal del elemento de resistencia.

55 7. El sistema mencionado en la reivindicación 6, en donde la primera fibra óptica, la segunda fibra óptica y la tercera fibra óptica están separadas radialmente por un ángulo de alrededor de 120°.

60 8. El sistema mencionado en la reivindicación 6, en donde el elemento de resistencia incluye al menos una cuarta fibra óptica incrustada en un compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de la longitud del elemento de resistencia, la cuarta fibra óptica está separada del eje central longitudinal del primer elemento de resistencia y se extiende desde el primer extremo del elemento de resistencia hasta el segundo extremo del elemento de resistencia y donde la cuarta fibra óptica no se extiende más allá de la superficie plana del primer y segundo extremo del elemento de resistencia.

65 9. El sistema mencionado en la reivindicación 8, en donde la primera fibra óptica, la segunda fibra óptica, la tercera fibra óptica y la cuarta fibra óptica están dispuestas alrededor y sustancialmente equidistantes del eje central

longitudinal del elemento de resistencia.

5 **10.** El sistema mencionado en la reivindicación 9, en donde la primera fibra óptica, la segunda fibra óptica, la tercera fibra óptica y la cuarta fibra óptica están separadas radialmente por un ángulo de alrededor de 90°.

11. El sistema mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el conductor eléctrico que está dispuesto alrededor del miembro de resistencia comprende una pluralidad de hebras de aluminio.

10 **12.** El sistema mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde la fuente de luz comprende un diodo emisor de luz (LED).

13. El sistema mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en donde el sensor de luz se selecciona de un sensor CCD y un sensor CMOS.

15 **14.** El sistema mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el miembro de resistencia comprende un único elemento de resistencia.

20 **15.** Un método para la interrogación de un cable eléctrico aéreo (120A, 120B) que comprende un miembro de resistencia (126, 128) y una pluralidad de hebras de aluminio conductoras (124A, 124B) dispuestas alrededor del miembro de resistencia, el miembro de resistencia comprende al menos un primer elemento de resistencia (127, 129, 426, 720), el elemento de resistencia comprende una matriz de unión y una pluralidad de fibras de refuerzo dispuestas operativamente dentro de la matriz de unión para formar un compuesto reforzado con fibra, y al menos una primera fibra óptica (323, 432) incrustada en el compuesto reforzado con fibra y que se extiende a lo largo de una longitud del elemento de resistencia desde un primer extremo del elemento de resistencia hasta un segundo extremo del elemento de resistencia, en donde el primer y segundo extremos del elemento de resistencia comprenden cada uno una superficie plana y en donde la primera fibra óptica no se extiende más allá de la superficie plana del primer y segundo extremos del elemento de resistencia, el método comprende los pasos de:

30 unir operativamente un dispositivo de transmisión de luz (450, 550) a un primer extremo del miembro de resistencia, el dispositivo de transmisión de luz comprende una fuente de energía (568) que está conectada operativamente a una fuente de luz (566);

unir operativamente un dispositivo de detección de luz (460, 660) a un segundo extremo del miembro de resistencia, el dispositivo de detección de luz comprende un detector de luz (664);

35 hacer que el dispositivo transmisor de luz transmita luz que tiene una longitud de onda de al menos alrededor de 300 nm y no mayor que alrededor de 1700 nm desde la fuente de luz hacia el primer extremo del elemento de resistencia y hacia el primer extremo de la primera fibra óptica; y

detectar la presencia de la luz transmitida a través del segundo extremo de la primera fibra óptica por el dispositivo de detección de luz.

40 **16.** El método mencionado en la reivindicación 15, en donde la luz transmitida tiene una longitud de onda primaria en la región infrarroja.

45 **17.** El método mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 15 a 16, en donde el primer elemento de resistencia incluye al menos una segunda, tercera y cuarta fibras ópticas incrustadas en el compuesto reforzado con fibra y que se extienden a lo largo de la longitud del elemento de resistencia, en donde la segunda, tercera y cuarta fibras ópticas no se extienden más allá de la superficie plana del primer y segundo extremo del elemento de resistencia y en donde la fuente de luz transmite la luz a los primeros extremos de la segunda, tercera y cuarta fibras ópticas.

50 **18.** El método mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, en donde la fuente de luz es un diodo emisor de luz (LED).

55 **19.** El método mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, en donde el paso de hacer que el dispositivo de transmisión de luz transmita luz comprende unir el dispositivo de transmisión de luz que tiene un orificio del dispositivo de transmisión de luz al primer extremo del miembro de refuerzo deslizando un orificio del dispositivo de transmisión de luz sobre el primer extremo del miembro de refuerzo.

60 **20.** El método mencionado en cualquiera de las reivindicaciones 15 a 19, en donde el paso de detectar la presencia de la luz comprende unir un dispositivo de detección de luz que tiene un orificio de detección de luz al segundo extremo del miembro de resistencia deslizando el orificio de detección de luz sobre el segundo extremo del miembro de resistencia.

DIBUJOS

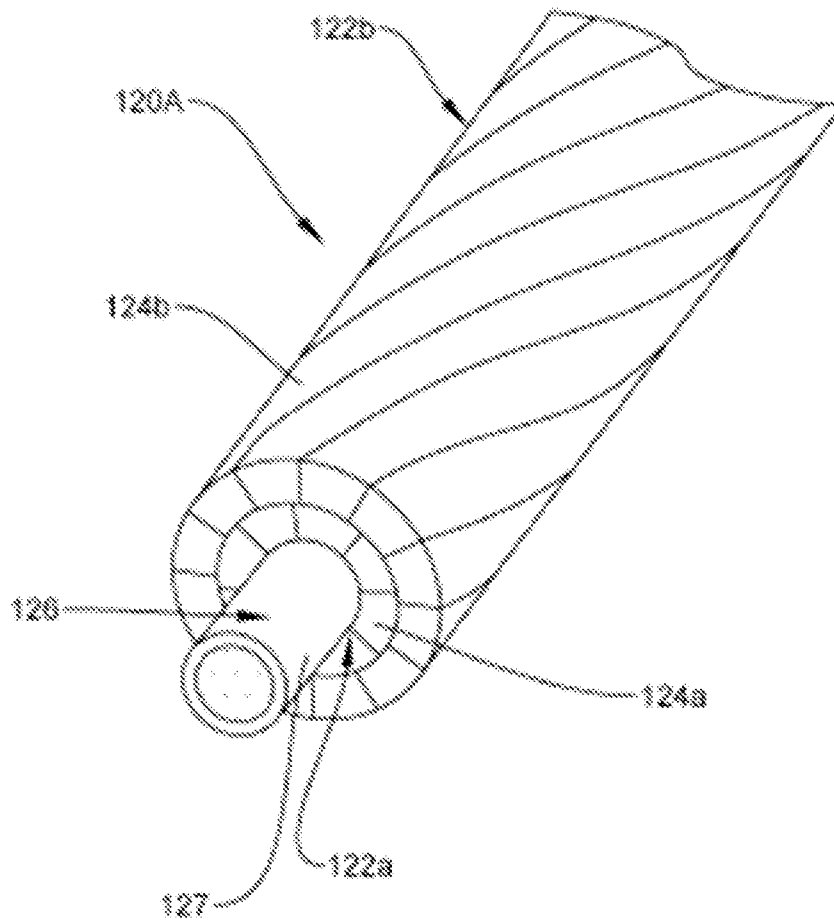


FIG. 1A

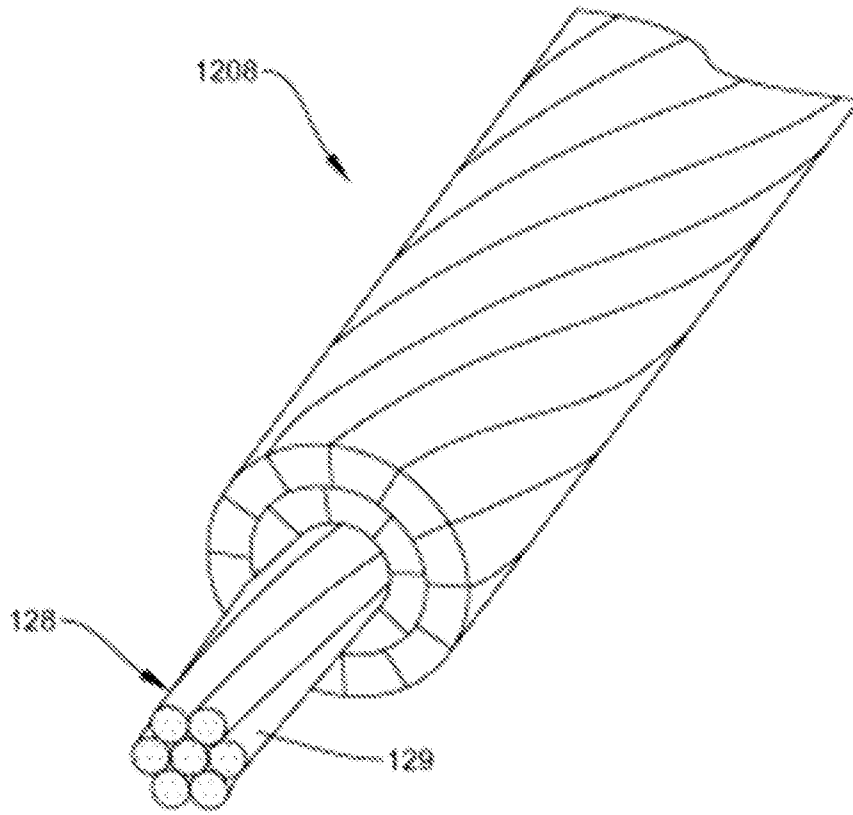


FIG. 1B

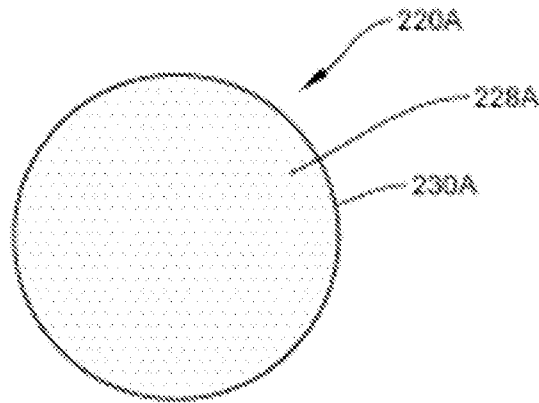


FIG. 2A

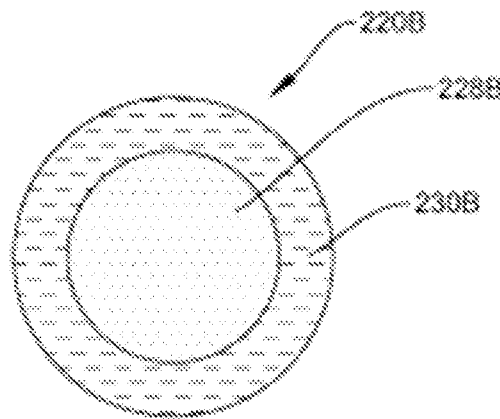


FIG. 2B

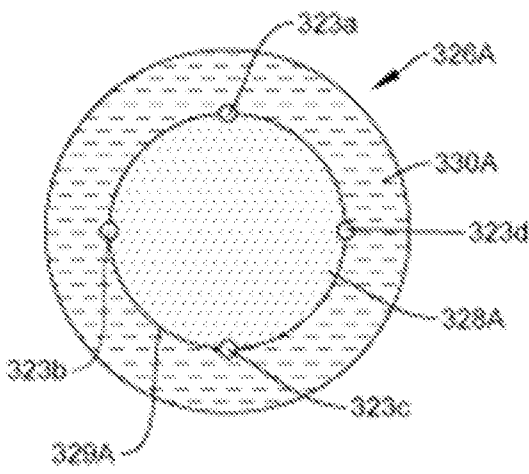


FIG. 3A

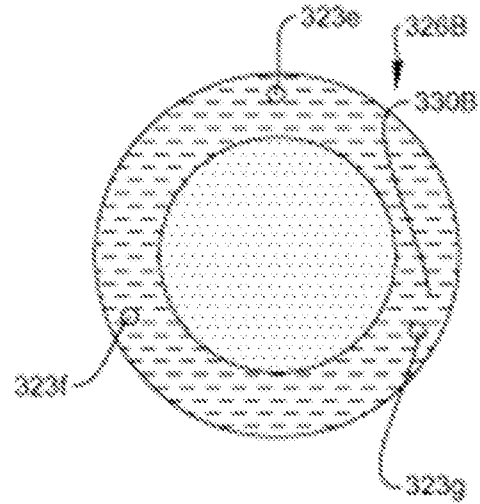


FIG. 3B

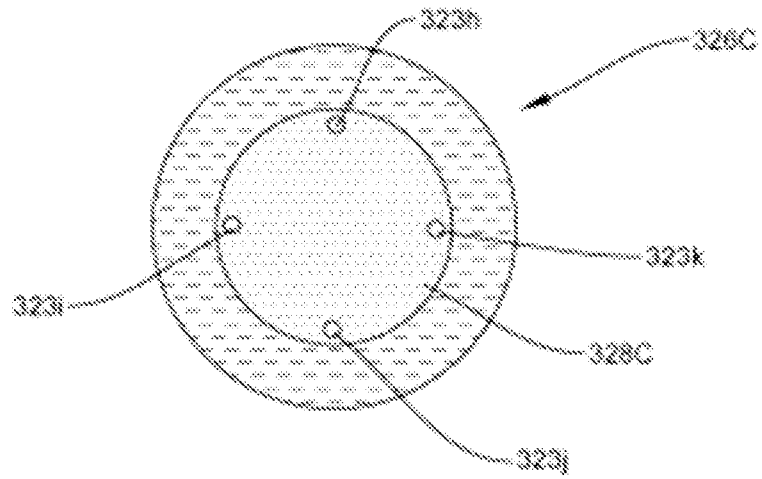


FIG. 3C

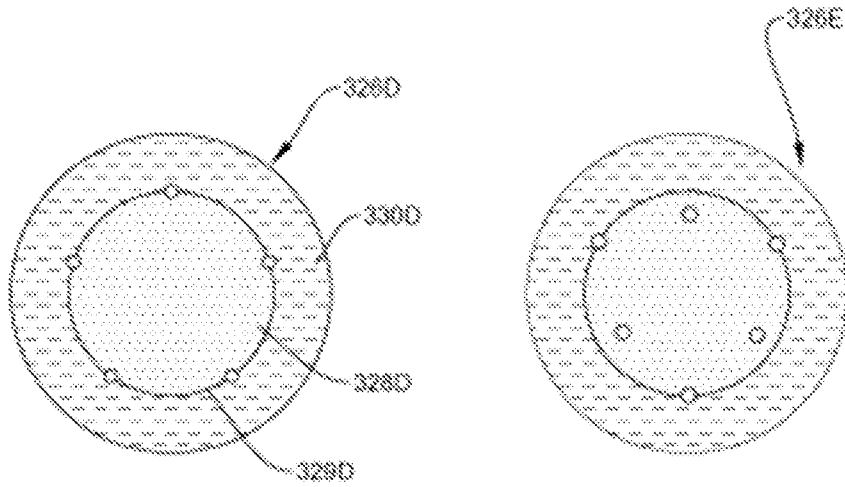


FIG. 3D

FIG. 3E

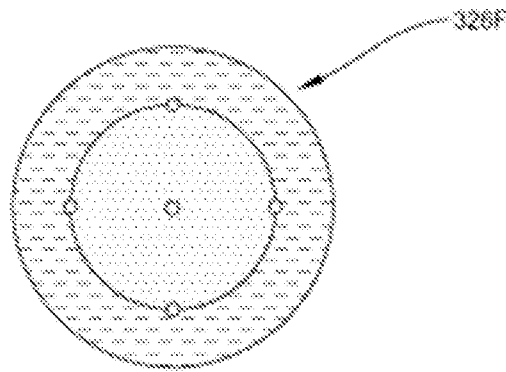


FIG. 3F

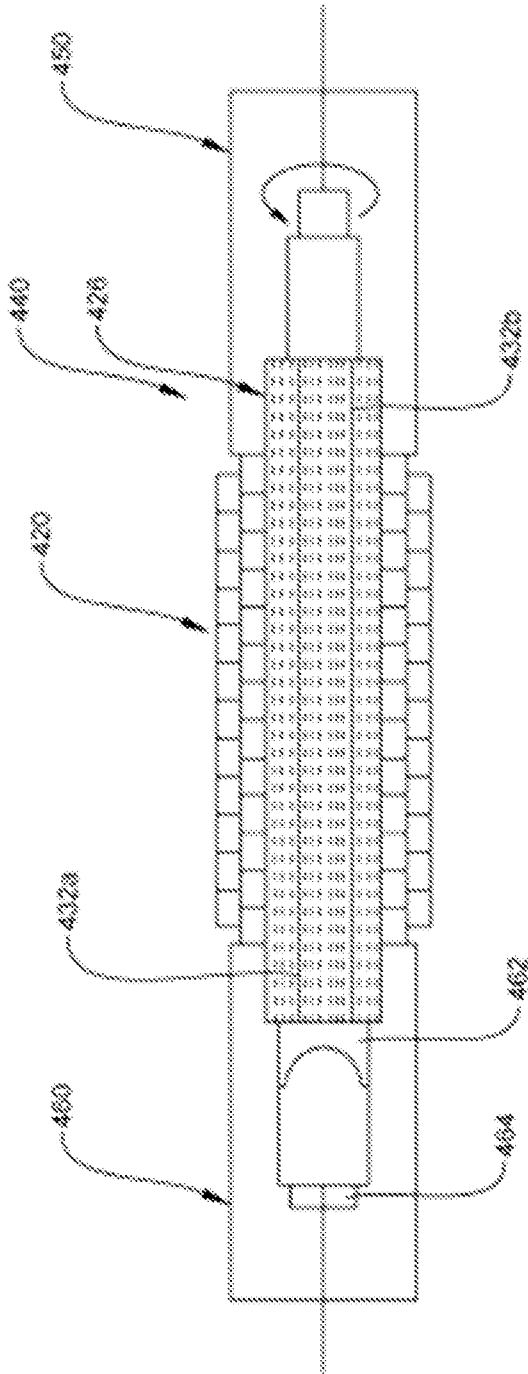


FIG. 4

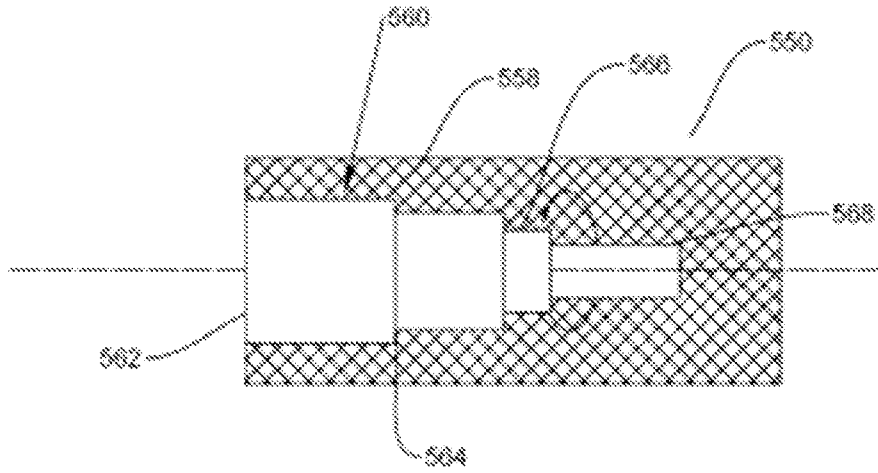


FIG. 5

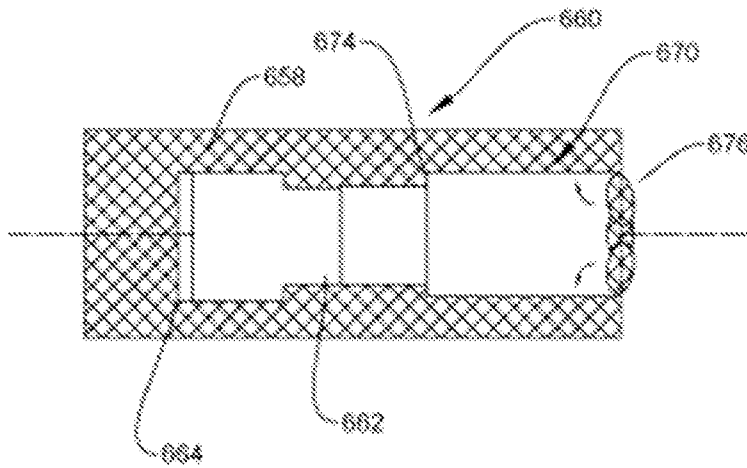


FIG. 6

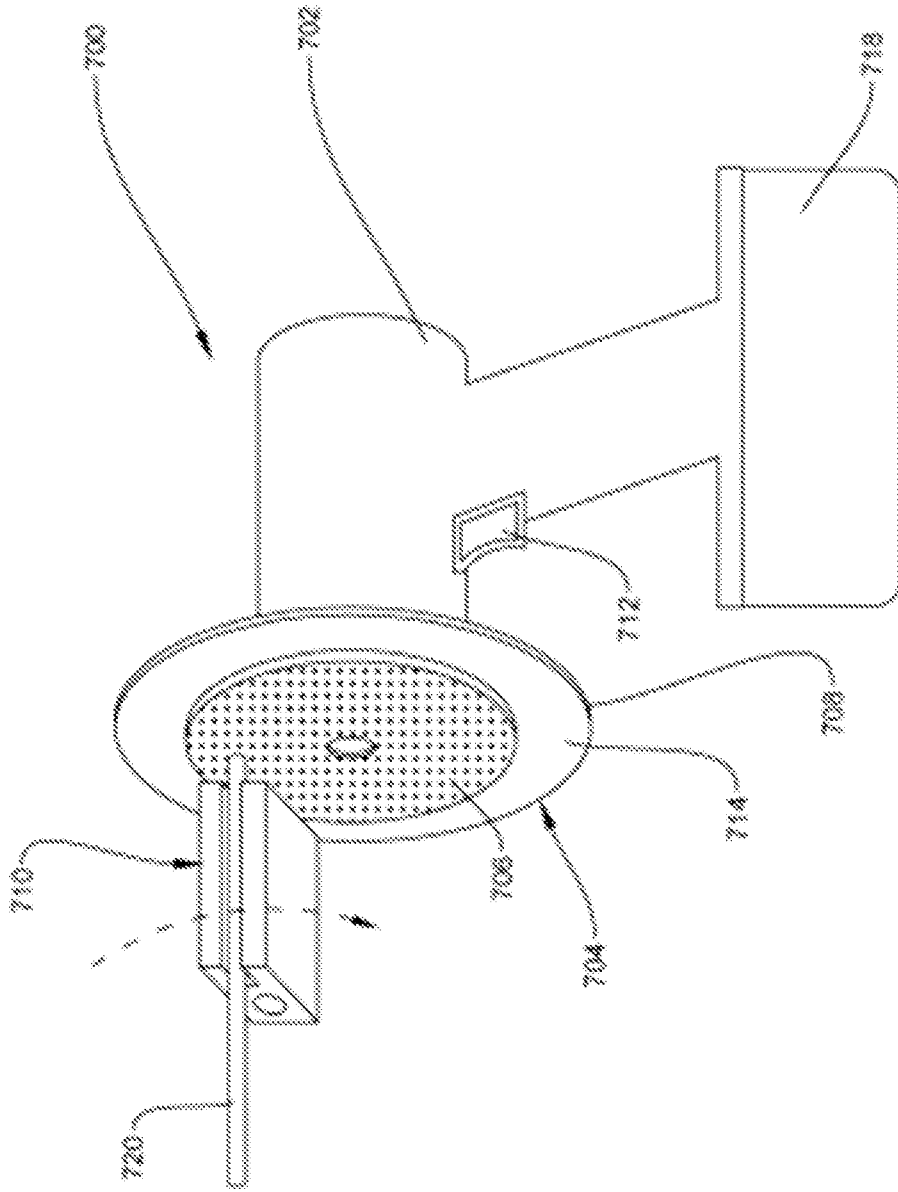


FIG. 7A

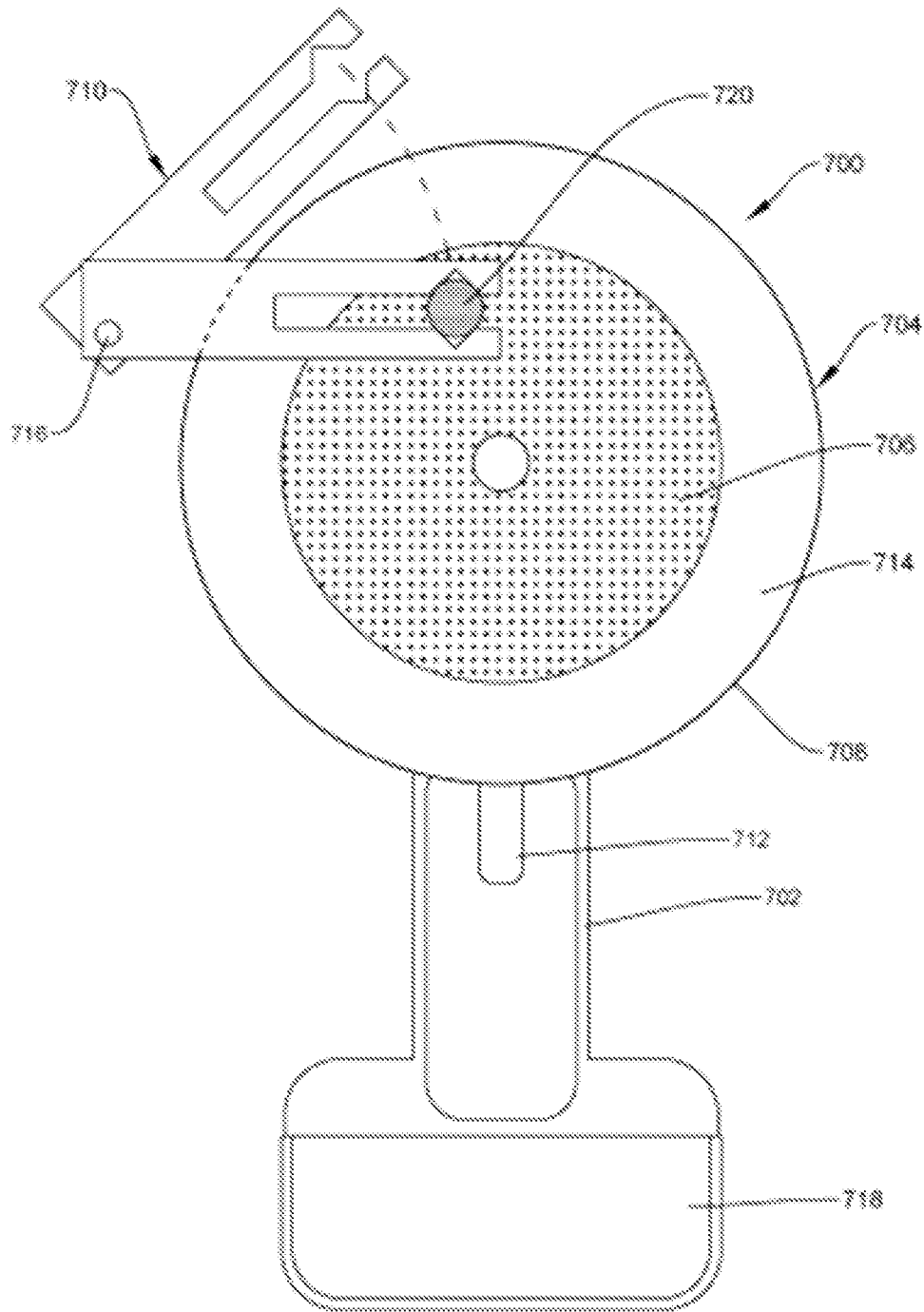


FIG. 7B