

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 577**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/44** (2006.01)

**G01D 5/353** (2006.01)

**G01M 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2012 PCT/EP2012/076517**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2013 WO13092933**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2012 E 12812642 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017 EP 2795386**

54 Título: **Cable óptico adaptado para medir una deformación o una temperatura**

30 Prioridad:

**22.12.2011 FR 1162291**

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

**29.11.2017**

73 Titular/es:

**ACOME, SOCIÉTÉ COOPÉRATIVE ET PARTICIPATIVE, SOCIÉTÉ ANONYME COOPÉRATIVE DE PRODUCTION À CAPITAL VARIABLE (100.0%)  
52 rue du Montparnasse  
75014 Paris , FR**

72 Inventor/es:

**POULAIN, ARNAUD y  
DA ROCHA, JEAN-CLAUDE**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

**ES 2 644 577 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Cable óptico adaptado para medir una deformación o una temperatura.

**5 Campo de la invención**

La invención se refiere a un cable óptico destinado a ser utilizado para medir una deformación o una temperatura de una estructura, y a un procedimiento de fabricación de un cable de este tipo.

10 La invención se refiere asimismo a un procedimiento de medición de una deformación y a un procedimiento de medición de una temperatura de una estructura por medio de un cable óptico.

**Estado de la técnica**

15 Se conoce a partir del documento FR 2 867 561 un dispositivo de medición en forma de cable, comprendiendo el cable una armadura cilíndrica, unas fibras ópticas dispuestas en la periferia de la armadura cilíndrica, y una envuelta externa. Las fibras ópticas están repartidas por la periferia de la armadura a 120° grados unas de las otras. Cada fibra está provista de redes de Bragg foto-grabadas y repartidas a lo largo de la fibra a intervalos regulares.

20 El dispositivo está destinado a estar dispuesto debajo de una estructura a vigilar, por ejemplo un edificio, y permite obtener una medición distribuida de las curvaturas de la estructura, en particular en caso de asentamiento del terreno.

25 La distribución de las fibras ópticas en la periferia de la armadura cilíndrica permite medir unas curvaturas independientemente del estado de torsión o de tracción axial del cable, siendo el cable libre de torcerse o sufrir tracciones axiales.

30 La utilización de este dispositivo necesita, sin embargo, tener en cuenta la orientación angular ( $\psi$ ) de las fibras a lo largo del cable, con el fin de poder determinar la orientación de la curvatura medida con respecto a la estructura a vigilar.

**Resumen de la invención**

35 Un objetivo de la invención es proponer un cable óptico de medición que permita una orientación constante de los elementos ópticos a lo largo del cable con respecto a la estructura a vigilar.

Este problema se resuelve en el marco de la presente invención gracias a un cable óptico que comprende un alma óptica y una envuelta que rodea el alma óptica, en el que el alma óptica está constituida por un número N de elementos ópticos, estando N definido por  $N = \sum_{i=1}^n i$ , en donde  $n \geq 2$ , estando los elementos ópticos dispuestos unos con respecto a los otros con el fin de conferir al alma óptica una sección transversal en forma general de triángulo, manteniéndose los elementos ópticos en contacto unos con los otros por la envuelta, y en donde la envuelta presenta una superficie externa que tiene tres porciones longitudinales planas que se extienden cada una a lo largo de un lado del triángulo.

45 Se designa por "elemento óptico" una fibra óptica desnuda (que presenta típicamente un diámetro de 250 micrómetros), o una fibra óptica provista de una envuelta de material termoplástico que rodea la fibra óptica (que presenta típicamente un diámetro externo comprendido entre 600 y 900 micrómetros).

50 El número N de elementos ópticos así definido permite una disposición en triángulo de los elementos.

Como los elementos ópticos se mantienen en contacto unos con los otros, la precisión de la disposición de los elementos ópticos depende directamente de la precisión del diámetro de los elementos ópticos. Es posible así obtener un posicionamiento relativo muy preciso de los elementos ópticos.

55 El cable puede ser posicionado fácilmente contra la estructura a vigilar, al tener una porción longitudinal plana de la superficie externa de la envuelta mantenida contra una superficie de la estructura a vigilar a lo largo de todo el cable. Como la porción longitudinal plana se extiende a lo largo de un lado del triángulo, el alma óptica presenta una orientación constante a lo largo de todo el cable.

60 El cable propuesto puede presentar, en particular, las características siguientes:

- el triángulo es equilátero,
- 65 - los N elementos ópticos presentan unos diámetros idénticos,

- la distancia entre los ejes de dos elementos ópticos que forman unos vértices del triángulo es igual a  $(n - 1) \times D$ , en la que D es el diámetro de un elemento óptico,
- la envuelta está realizada en un material transparente a la luz ambiente,
- por lo menos uno de los elementos ópticos presenta un color diferente de los otros elementos ópticos,
- la envuelta presenta un marcado sobre por lo menos una porción longitudinal plana.

El cable óptico puede ser fabricado según un primer procedimiento de fabricación que comprende unas etapas de:

- accionar en desplazamiento los elementos ópticos guiándolos a través de un guía-hilos,
- formar la envuelta por extrusión de un material a través de una hilera, alrededor de los elementos ópticos en desplazamiento,

en el que, durante la etapa de extrusión, se mantiene una depresión entre el material extruido y los elementos ópticos de manera que, debido a la depresión, el material llegue a colocarse contra los elementos ópticos, formando las tres porciones longitudinales planas.

Alternativamente, el cable óptico se puede fabricar según un segundo procedimiento de fabricación que comprende unas etapas de:

- accionar en desplazamiento los elementos ópticos guiándolos a través de un guía-hilos,
- formar la envuelta por extrusión de un material a través de una hilera, alrededor de los elementos ópticos en desplazamiento,

en el que la hilera presenta una sección sustancialmente triangular con el fin de formar las tres porciones longitudinales planas.

La invención se refiere asimismo a un procedimiento de medición de una deformación de una estructura mediante un cable óptico tal como se ha definido anteriormente, en el que el cable óptico está fijado sobre una superficie de la estructura al tener una de las porciones longitudinales planas en contacto con la superficie de la estructura.

El procedimiento de medición puede comprender unas etapas de:

- para cada elemento óptico posicionado en un vértice del triángulo, emitir una señal óptica de ensayo para que la señal óptica de ensayo se propague a lo largo del elemento óptico, y medir una señal óptica de respuesta,
- analizar los espectros de frecuencia de las tres señales ópticas de respuesta, y
- deducir de ello un valor de deformación de la estructura.

La invención se refiere también a un procedimiento de medición de una temperatura de una estructura mediante un cable óptico tal como se ha definido anteriormente, en el que el cable óptico está fijado sobre una superficie de la estructura al estar una de las porciones longitudinales planas en contacto con la superficie de la estructura.

El procedimiento de medición puede comprender unas etapas de:

- para por lo menos un elemento óptico, emitir una señal óptica de ensayo para que la señal óptica de ensayo se propague a lo largo del elemento óptico, y medir una señal óptica de respuesta,
- analizar el espectro de frecuencia de la señal óptica de respuesta, y
- deducir de ello un valor de temperatura de la estructura.

### Presentación de los dibujos

Otras características y ventajas aparecerán también a partir de la descripción siguiente, la cual es puramente ilustrativa y no limitativa y debe leerse con respecto a las figuras adjuntas, entre las cuales:

- la figura 1 representa de manera esquemática en sección transversal una estructura de un cable óptico de acuerdo con un primer modo de realización, en el que el alma óptica está constituida por tres elementos ópticos,
- 5 - la figura 2 representa, de manera esquemática, en sección transversal, una estructura de un cable óptico de acuerdo con un segundo modo de realización, en el que el alma óptica está constituida por seis elementos ópticos,
- 10 - la figura 3 representa, de manera esquemática, en sección transversal, una estructura de un cable óptico de acuerdo con un tercer modo de realización, en el que el alma óptica está constituida por diez elementos ópticos,
- la figura 4 representa, de manera esquemática, un primer procedimiento de fabricación de un cable óptico de acuerdo con la invención,
- 15 - la figura 5 representa, de manera esquemática, un segundo procedimiento de fabricación de un cable óptico de acuerdo con la invención,
- 20 - la figura 6 ilustra, de manera esquemática, una instalación del cable óptico, para efectuar unas mediciones de deformación de una estructura a vigilar.

### Descripción detallada

25 En la figura 1, el cable óptico 10 representado comprende un alma óptica 20 y una envuelta 30 que rodea el alma óptica.

30 El alma óptica 20 está constituida por tres elementos ópticos 21 a 23 de sección transversal circular que presentan unos diámetros idénticos. Los elementos ópticos 21 a 23 son mantenidos en contacto unos con los otros por la envuelta 30. Debido a este mantenimiento en contacto y al número de elementos ópticos, los elementos ópticos 21 y 23 pasan a calarse unos contra los otros y se disponen naturalmente unos con respecto a los otros con el fin de conferir al alma óptica 20 una sección transversal en forma general de triángulo.

35 Más precisamente, el alma óptica presenta una sección transversal en forma de triángulo equilátero, estando los tres elementos ópticos 21 a 23 repartidos alrededor del eje neutro del cable con un espacio angular entre los elementos de 120°.

40 Como los elementos ópticos 21 a 23 son de diámetros idénticos y se mantienen en contacto unos con los otros, las distancias entre los ejes de los elementos ópticos 21-22, 22-23 y 23-21 son idénticos e iguales al diámetro de un elemento óptico.

45 Cada elemento óptico está constituido por una fibra óptica desnuda (que presenta típicamente un diámetro de 250 micrómetros), o por una fibra óptica desnuda y por una envuelta de material termoplástico que rodea la fibra óptica (que presenta típicamente un diámetro externo comprendido entre 600 y 900 micrómetros).

50 La envuelta 30 presenta un grosor sustancialmente constante y se adapta a la forma geométrica del alma óptica 20. La envuelta 30 presenta en particular una superficie externa que tiene tres porciones longitudinales 31 a 33 sustancialmente planas (o aplastadas), que se extienden cada una a lo largo de un lado del triángulo formado, estando cada lado del triángulo formado por dos elementos ópticos. Las tres porciones 31 a 33 están repartidas alrededor del eje neutro con un espacio de 120°.

55 En la figura 2, el cable óptico 10 representado comprende también un alma óptica 20 y una envuelta 30 que rodea el alma óptica.

60 El cable de la figura 2 se distingue del cable de la figura 1 por que el alma óptica 20 está constituida por seis elementos ópticos 21 a 26. Los elementos ópticos 21 a 26 presentan unos diámetros idénticos y están dispuestos unos con respecto a los otros con el fin de conferir al alma óptica 20 una sección transversal en forma general de triángulo.

65 Los elementos ópticos 21 y 26 incluyen tres elementos ópticos centrales 24 a 26, dispuestos en triángulo y tres elementos ópticos periféricos 21 a 23, estando cada elemento óptico periférico en contacto con dos elementos ópticos centrales. Esta disposición permite repartir los tres elementos ópticos periféricos 21 a 23 lo más alejados del eje neutro del cable con un espacio angular entre los elementos de 120° alrededor del eje neutro del cable.

Como los elementos ópticos 21 a 26 son de diámetros idénticos y se mantienen en contacto unos con los otros, las distancias entre los ejes de los elementos ópticos 21-22, 22-23 y 23-21 son idénticas e iguales a dos veces el diámetro de un elemento óptico.

5 La envuelta 30 presenta un grosor constante y se adapta a la forma geométrica del alma óptica 20. La envuelta 30 presenta, en particular, una superficie externa que tiene tres porciones longitudinales 31 a 33 sustancialmente planas (o aplastadas) que se extienden cada una a lo largo de un lado del triángulo formado, estando cada lado del triángulo formado por tres elementos ópticos.

En la figura 3, el cable óptico representado comprende también un alma óptica 20 y una envuelta 30 que rodea el alma óptica.

10 El cable de la figura 3 se distingue de los cables de las figuras 1 y 2 por que el alma óptica 20 está constituida por diez elementos ópticos 21 a 210. Los elementos ópticos 21 a 210 presentan unos diámetros idénticos y están dispuestos unos con respecto a los otros con el fin de conferir al alma óptica 20 una sección transversal en forma general de triángulo.

15 Los elementos ópticos 21 a 210 incluyen siete elementos ópticos centrales 24 a 210 dispuestos en hexágono y tres elementos ópticos periféricos 21 a 23, estando cada elemento óptico periférico en contacto con dos elementos ópticos centrales. Esta disposición permite repartir los tres elementos ópticos periféricos 21 a 23 más alejados del eje neutro del cable con un espacio angular entre los elementos de 120° alrededor del eje neutro del cable.

20 Como los elementos ópticos 21 a 210 son de diámetros idénticos y se mantienen en contacto unos con los otros, las distancias entre los ejes de los elementos ópticos 21-22, 22-23 y 23-21 son idénticas e iguales a tres veces el diámetro de un elemento óptico.

25 La envuelta 30 presenta un grosor constante y se ajusta a la forma geométrica del alma óptica 20. La envuelta 30 presenta en particular una superficie que tiene tres porciones longitudinales 31 a 33 sustancialmente planas (o aplastadas) que se extienden cada una a lo largo de un lado del triángulo, estando cada lado del triángulo formado por cuatro elementos.

30 En cada uno de los modos de realización de las figuras 1 a 3, la envuelta 30 es preferentemente de un material transparente o translúcido a la luz visible, tal como policarbonato por ejemplo, permitiendo así que un usuario distinga los elementos ópticos en el interior de la envuelta.

35 Además, por lo menos uno de los elementos ópticos presenta un color diferente de los otros elementos ópticos. Puede tratarse, por ejemplo, de uno de los elementos ópticos periféricos cuya envuelta presenta un color diferente de la envuelta de los otros elementos ópticos. Esto facilita la localización visual del elemento óptico que es fácilmente visible a través de la envuelta, con el fin de controlar la posición del elemento óptico a lo largo de todo el cable.

40 Además, la envuelta puede presentar un marcado sobre por lo menos una de las porciones longitudinales planas. Esto permite también controlar el posicionamiento correcto del cable con respecto a la estructura a vigilar y asegurarse de que el cable no sufre ninguna torsión.

De manera general, el alma óptica 20 está constituida por un número N de elementos ópticos, estando N definido  
45 por  $N = \sum_{i=1}^n i$ , en la que  $n \geq 2$ . De esta manera, es posible disponer los elementos ópticos en contacto unos con los otros para conferir al alma óptica una sección transversal en forma general de triángulo equilátero. Los elementos ópticos periféricos 21 a 23 más alejados del eje neutro del cable están constituidos por los tres elementos ópticos que forman los vértices del triángulo equilátero.

50 Debido a esta disposición en triángulo, la estructura del cable 10 propuesto permite un posicionamiento preciso de los elementos ópticos periféricos unos con respecto a los otros. En particular, la precisión del posicionamiento radial y angular de los elementos periféricos depende de la precisión del diámetro de los elementos ópticos que constituyen el alma óptica.

55 La distancia entre los ejes de los dos elementos ópticos periféricos (elementos ópticos 21 a 23) es igual a  $(n - 1) \times D$ , en la que D es el diámetro de un elemento óptico.

La figura 4 representa, de manera esquemática, un primer procedimiento de fabricación de un cable óptico 10 de acuerdo con la invención.

60 Según este primer procedimiento de fabricación, los elementos ópticos 21 a 23 se desplazan, guiándose a través de un guía-hilos 40 que permite un pre-posicionamiento de los elementos ópticos.

65 La envuelta 30 está formada por extrusión de un material 34 de baja viscosidad, tal como policarbonato, a través de una hilera 50 de forma circular. El material 34 se extruye alrededor de los elementos ópticos 21 a 23 en

- desplazamiento. Se mantiene una depresión entre el material extruido 34 y los elementos ópticos 21 a 23 gracias a una bomba al vacío 60 de manera que, debido a la depresión, el material extruido 34 llegue a presionarse contra los elementos ópticos 21 a 23 ajustándose a la forma triangular del alma óptica. Esto permite mantener los elementos ópticos 21 a 23 en contacto unos con los otros y formar una envuelta 30 que presenta una superficie externa que tiene las tres porciones longitudinales planas.
- Como la envuelta 30 mantiene los elementos ópticos en contacto unos con los otros, los elementos ópticos se acomodan unos contra los otros formando naturalmente una estructura triangular.
- La figura 5 representa, de manera esquemática, un segundo procedimiento de fabricación de un cable óptico de acuerdo con la invención.
- Según este segundo modo de realización, los elementos ópticos 21 a 23 se desplazan guiándose a través de un guía-hilos 40 que permite un pre-posicionamiento de los elementos ópticos 21 a 23.
- La envuelta 30 se forma por extrusión de un material 35 de fuerte viscosidad, tal como un polímero sin halógeno o ZH (cero halógeno), a través de una hilera 51 que presenta una sección sustancialmente triangular. El material 35 se extruye alrededor de los elementos ópticos 21 a 23 en desplazamiento formando una envuelta 30 que presenta una superficie externa que tiene las tres porciones longitudinales planas.
- La figura 6 ilustra, de manera esquemática, una instalación del cable óptico 10 con el fin de efectuar unas mediciones de deformación de una estructura a vigilar.
- El cable 10 se fija sobre una superficie 71 de la estructura 70 teniendo una de las porciones longitudinales planas 31 en contacto con la superficie 71 de la estructura. Más precisamente, el cable 10 se fija por encolado de la porción longitudinal plana 31 sobre la superficie 71 de la estructura 70.
- Como la misma porción longitudinal plana 31 se mantiene en contacto con la superficie 71 de la estructura a lo largo de todo el cable 10, el alma óptica 20 presenta una orientación constante a lo largo de todo el cable.
- Según un primer modo de realización, una deformación de la estructura 70 a lo largo del cable óptico 10 se mide de la manera siguiente.
- Cada elemento óptico 21 a 23 periférico está conectado a un aparato de análisis 80.
- El aparato de análisis 80 es apto para generar una señal óptica de bombeo (señal pulsada) que se aplica a un primer extremo de cada elemento óptico y una señal óptica de ensayo (señal continua) que se aplica a un segundo extremo de cada elemento óptico y que se propaga en el sentido opuesto.
- Cuando la separación entre la frecuencia de la señal de ensayo y la frecuencia de la señal de bombeo es igual al desplazamiento Brillouin del cable óptico, la señal de ensayo se amplifica por interacción con la señal de bombeo.
- Además, el desplazamiento Brillouin del cable óptico 10 varía con la tensión aplicada al elemento óptico y con la temperatura del elemento óptico.
- Haciendo variar la frecuencia de la señal de ensayo y midiendo la intensidad de la señal de ensayo amplificada, el aparato de análisis 80 permite detectar el desplazamiento Brillouin del cable óptico en una pluralidad de puntos a lo largo de cada elemento óptico.
- El aparato de análisis 80 mide tres señales ópticas de respuesta, habiendo sido cada señal óptica generada por uno de los elementos ópticos 21 a 23 periféricos.
- Dado que la sensibilidad al alargamiento de un elemento óptico -relación entre el alargamiento impuesto (en porcentaje) y la variación del desplazamiento Brillouin que resulta- es conocida, es posible deducir, en cada punto el largo del cable 10, un valor de alargamiento de cada elemento óptico periférico 21 a 23.
- La deformación del cable en un punto dado se calcula de manera conocida como una combinación de los valores de alargamientos de los tres elementos ópticos periféricos 21 a 23 en este punto, sabiendo que estos elementos ópticos están dispuestos a  $120^\circ$  y que las dimensiones del cable 10 están definidas.
- Como el cable 10 está íntimamente unido a la estructura 70 de la cual se busca medir las deformaciones, las deformaciones medidas se consideran como las deformaciones de la estructura 70.
- Según un segundo modo de realización, una deformación de la estructura a lo largo del cable óptico se mide de la siguiente manera.

5 Cada elemento óptico 21 a 23 periférico está provisto de una serie de redes de Bragg foto-grabadas en el elemento óptico. Las redes de Bragg se posicionan a lo largo del elemento óptico en una pluralidad de puntos, a intervalos regulares. Cada red de Bragg está formada por una variación del índice de refracción del núcleo del elemento óptico perpendicularmente al eje del elemento óptico. Las redes de Bragg formadas a lo largo del elemento óptico presentan una periodicidad diferente.

10 Los elementos ópticos periféricos 21 a 23 están conectados a un aparato de análisis apto para generar una señal óptica de excitación. Una parte de la señal óptica de excitación es reflejada por la red de Bragg, en una banda de frecuencia cuya frecuencia central, que corresponde a la longitud de onda de Bragg, depende de la periodicidad de la red.

15 Las deformaciones impuestas al elemento óptico alargan o acortan la red, lo cual induce una variación de periodicidad y, en consecuencia, una variación de la longitud de onda de Bragg.

El aparato de análisis es apto para medir una señal óptica de respuesta retro-dispersada, caracterizada por una frecuencia central que depende en particular del alargamiento del elemento óptico.

20 Siendo conocida la relación entre la frecuencia central y el alargamiento del elemento óptico, es posible deducir, en cada punto a lo largo del cable provisto de una red de Bragg, un valor de alargamiento de cada elemento óptico periférico.

25 En este caso también, la deformación del cable en un punto dado provisto de redes de Bragg se calcula de manera conocida como una combinación de los valores de alargamientos de los tres elementos ópticos periféricos 21 a 23 en este punto, sabiendo que estos elementos ópticos están dispuestos a  $120^\circ$  y que las dimensiones del cable 10 están definidas.

30 Según un tercer modo de realización, una deformación de la estructura 70 a lo largo del cable óptico 10 se mide de la siguiente manera.

Cada elemento óptico 21 a 23 periférico está conectado a un aparato de análisis 80 de tipo OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry).

35 El aparato de análisis 80 es apto para generar una señal óptica de excitación que se aplica a un extremo de cada elemento óptico. La señal óptica de excitación está modulada lineal y periódicamente en frecuencia. Una parte de la señal óptica es retro-dispersada por el elemento óptico.

40 El aparato de análisis 80 mide tres señales ópticas de respuesta, habiendo sido cada señal óptica generada por uno de los elementos ópticos 21 a 23 periféricos.

45 Una deformación de un elemento óptico provoca unos cambios locales del índice de refracción del elemento óptico, y, por lo tanto, una modificación de las características de la señal retro-dispersada. El aparato de análisis mide el espectro de potencia procedente de las mezclas de la señal retro-dispersada por el elemento óptico y el del oscilador local del aparato. Una transformada de Fourier, que permite pasar del campo frecuencial al campo temporal, se realiza sobre la señal recuperada. Cualquier tensión sobre el elemento óptico y modificación del índice de refracción tiene un impacto directo sobre el espectro de retro-dispersión. La medición del desplazamiento en frecuencia de la señal espectral adquirida en el origen (referencia) y la determinada en el instante  $t$ , permite determinar y cuantificar la tensión sobre el elemento óptico.

50 La deformación del cable en un punto se calcula de manera conocida, como una combinación de los valores de alargamientos de los tres elementos ópticos periféricos 21 a 23 en este punto, sabiendo que estos elementos ópticos están dispuestos a  $120^\circ$  y que las dimensiones del cable 10 están definidas.

55 El cable óptico 10 se puede utilizar también para medir una temperatura de la estructura 70.

Para ello, el cable 10 se fija sobre la superficie 71 de la misma manera que en la figura 6.

La temperatura de la estructura a lo largo del cable óptico 70 se mide de la manera siguiente.

60 Uno de los elementos ópticos 21 a 210 se conecta a un aparato de análisis.

El aparato de análisis es apto para generar una señal óptica de excitación monocromática que se aplica a un extremo del elemento óptico. Una parte de la señal óptica es reflejada por el elemento óptico.

65 El aparato de análisis es apto para medir una señal óptica de respuesta retro-dispersada por el elemento óptico, que ha sufrido un desplazamiento frecuencial por difusión inelástica de tipo Raman.

La temperatura del cable se calcula en función del espectro de frecuencia de la señal óptica de respuesta.

5 El espectro de la señal óptica de respuesta se caracteriza por dos picos distintos: un pico Stokes y un pico anti-Stokes. La diferencia entre un valor de intensidad del pico anti-stokes medida y un valor de referencia (que corresponde a la intensidad del pico anti-stokes a una temperatura de referencia) depende de la temperatura del elemento óptico.

10 Asimismo, la relación de la intensidad del pico anti-stokes sobre la intensidad del pico Stokes depende de la temperatura del elemento óptico. La sensibilidad de esta relación es típicamente del 0,8% por grado celcius.

El análisis en el tiempo de la señal de respuesta permite determinar una temperatura en un punto cualquiera a lo largo del elemento óptico.

15 Como el cable 10 está íntimamente unido a la estructura 70 de la cual se busca medir la temperatura, la temperatura medida se considera como la temperatura de la estructura 70.

**REIVINDICACIONES**

1. Cable óptico (10) que comprende un alma óptica (20) y una envuelta (30) que rodea el alma óptica (20), en el que el alma óptica (20) está constituida por un número N de elementos ópticos (21-23), siendo N definido por
- 5  $N = \sum_{i=1}^n i$ , en la que  $n \geq 2$ , siendo cada elemento óptico (21-23) una fibra óptica desnuda o una fibra óptica provista de una envuelta de material termoplástico que rodea la fibra óptica, caracterizado por que los elementos ópticos (21-23) están dispuestos unos con respecto a los otros de manera que confieran al alma óptica (20) una
- 10 sección transversal en forma general de triángulo, siendo los elementos ópticos (21-23) mantenidos en contacto unos con los otros por la envuelta (30), y por que la envuelta (30) presenta una superficie externa que tiene tres porciones longitudinales planas (31-33) que se extienden cada una a lo largo de un lado del triángulo.
2. Cable según la reivindicación 1, en el que el triángulo es equilátero.
3. Cable óptico según una de las reivindicaciones 1 o 2, en el que los N elementos ópticos (21-23) presentan
- 15 unos diámetros idénticos.
4. Cable óptico según la reivindicación 3, en el que la distancia entre los ejes de los dos elementos ópticos que forman unos vértices del triángulo es igual a  $(n - 1) \times D$ , en la que D es el diámetro de un elemento óptico.
- 20 5. Cable según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la envuelta (30) está realizada en un material transparente a la luz visible.
6. Cable según la reivindicación 5, en el que por lo menos uno de los elementos ópticos presenta un color diferente de los otros elementos ópticos.
- 25 7. Cable según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la envuelta (30) presenta un marcado sobre por lo menos una porción longitudinal plana.
8. Procedimiento de fabricación de un cable óptico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, que
- 30 comprende unas etapas de:
- accionar en desplazamiento los elementos ópticos (21-23) guiándolos a través de un guía-hilos (40),
  - formar la envuelta (30) por extrusión de un material (34) a través de una hilera (50), alrededor de los
- 35 elementos ópticos (21-23) en desplazamiento,
- en el que, en el curso de la etapa de extrusión, se mantiene una depresión entre el material extruido (34) y los elementos ópticos (21-23) de manera que, debido a la depresión, el material pase a aplicarse contra los
- 40 elementos ópticos (21-23) formando las tres porciones longitudinales planas (31-33).
9. Procedimiento de fabricación de un cable óptico de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende unas etapas de:
- accionar en desplazamiento los elementos ópticos (21-23) guiándolos a través de un guía-hilos (40),
  - formar la envuelta (30) por extrusión de un material (35) a través de una hilera (51), alrededor de los
- 45 elementos ópticos (21-23) en desplazamiento,
- en el que la hilera (51) presenta una sección sustancialmente triangular de manera que se formen las tres porciones longitudinales planas (31-33).
- 50 10. Procedimiento de medición de una deformación de una estructura (70) por medio de un cable (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el cable (10) está fijado sobre una superficie (71) de la estructura (70) al tener una de las porciones longitudinales planas (31) en contacto con la superficie (71) de la
- 55 estructura.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, que comprende unas etapas de:
- para cada elemento óptico (21-23) posicionado en un vértice del triángulo, emitir una señal óptica de ensayo para que la señal óptica de ensayo se propague a lo largo del elemento óptico, y medir una señal
- 60 óptica de respuesta,
- analizar los espectros de frecuencia de las tres señales ópticas de respuesta, y
  - deducir de ello un valor de deformación de la estructura (70).
- 65

12. Procedimiento de medición de una temperatura de una estructura (70) por medio de un cable (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el cable (10) está fijado sobre una superficie (71) de la estructura (70) al tener una de las porciones longitudinales planas (31) en contacto con la superficie (71) de la estructura.

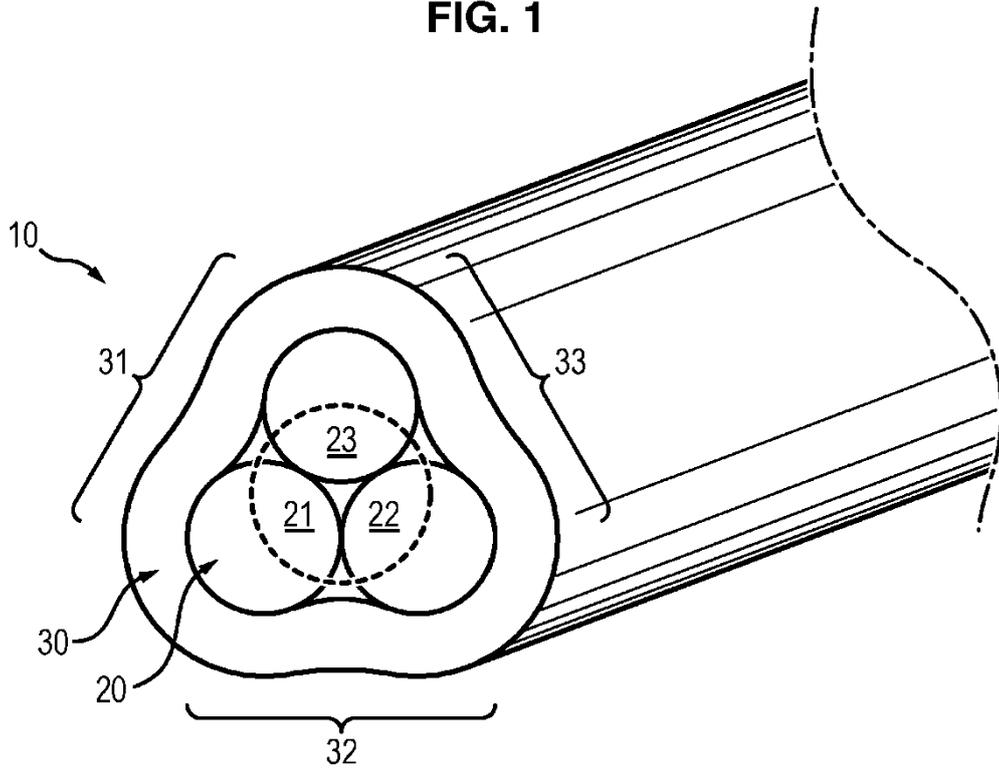
5

13. Procedimiento según la reivindicación 12, que comprende unas etapas de:

- para por lo menos un elemento óptico (21-210), emitir una señal óptica de ensayo para que la señal óptica de ensayo se propague a lo largo del elemento óptico, y medir una señal óptica de respuesta,
- analizar el espectro de frecuencia de la señal óptica de respuesta, y
- deducir de ello un valor de temperatura de la estructura (70).

10

**FIG. 1**



**FIG. 2**

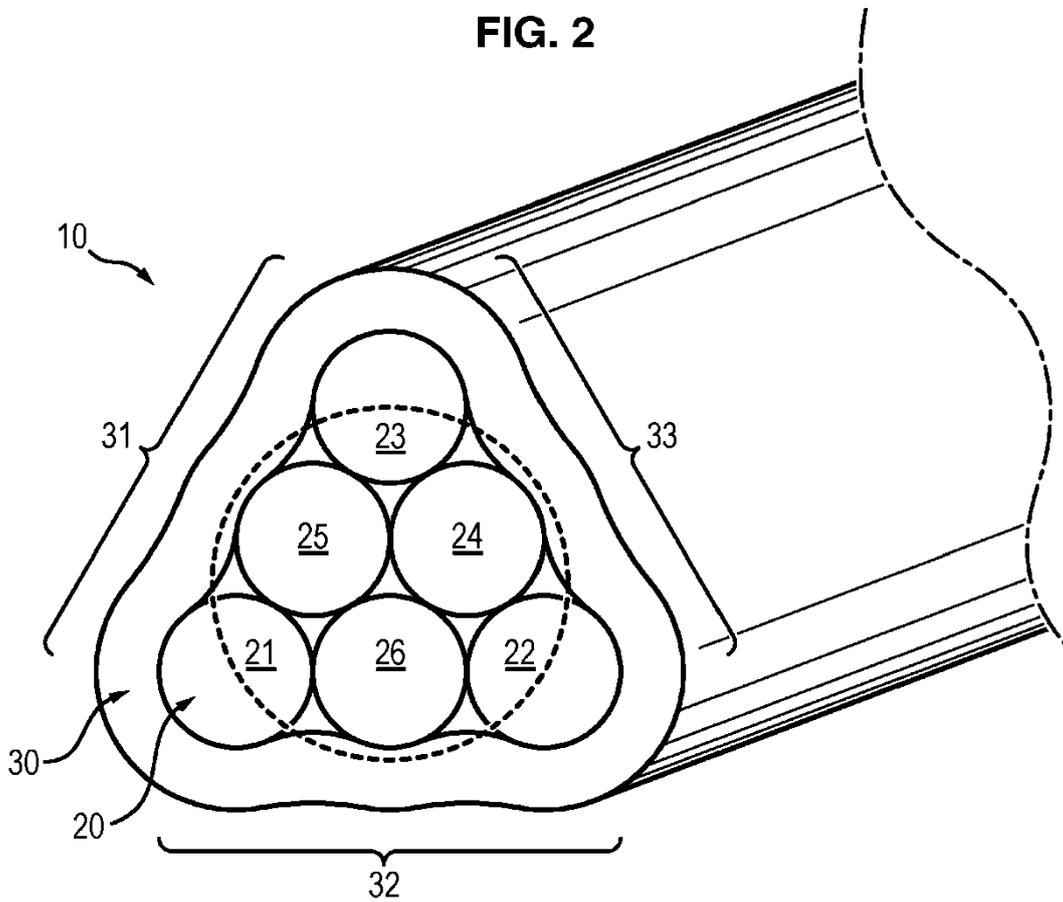


FIG. 3

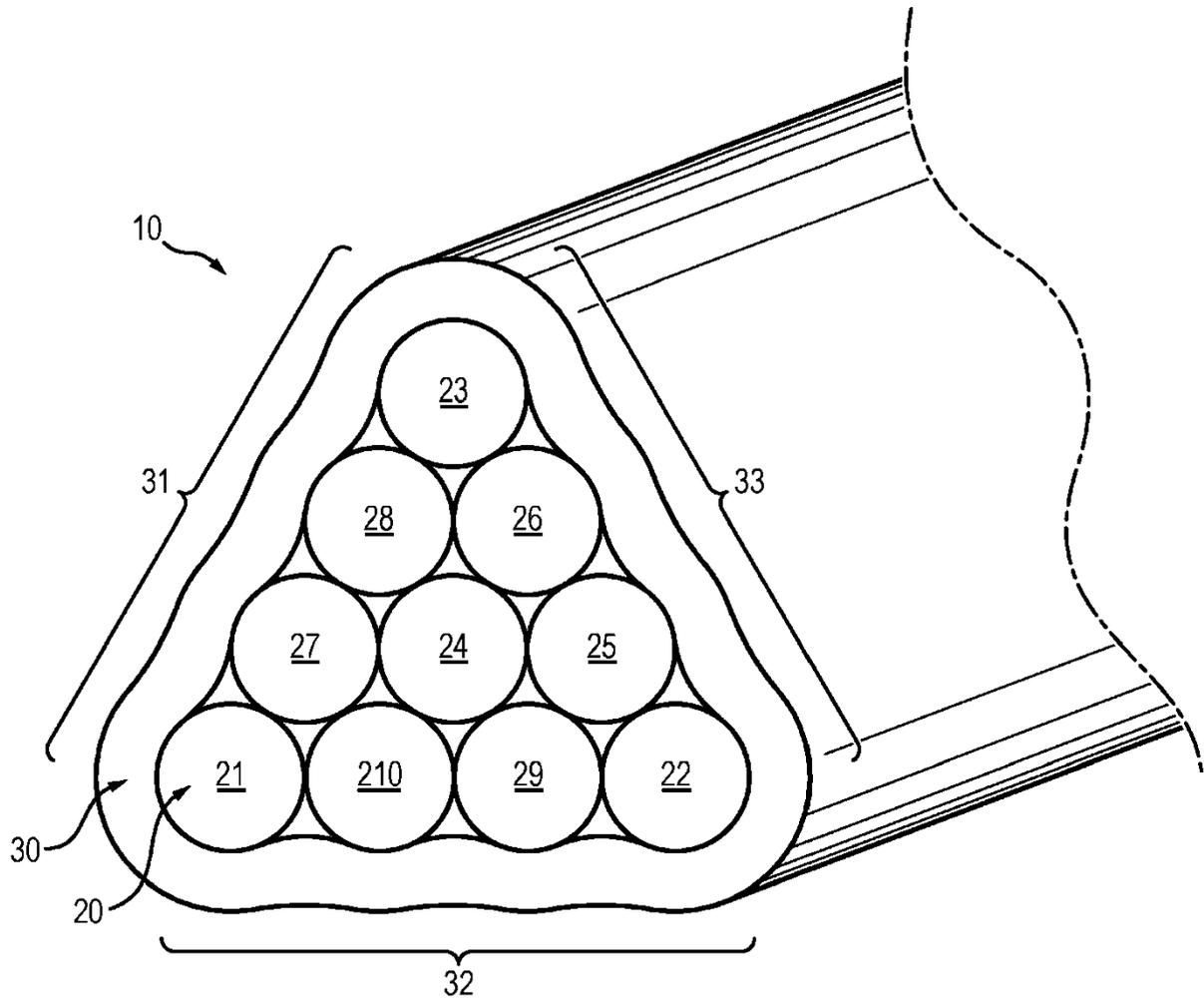


FIG. 4

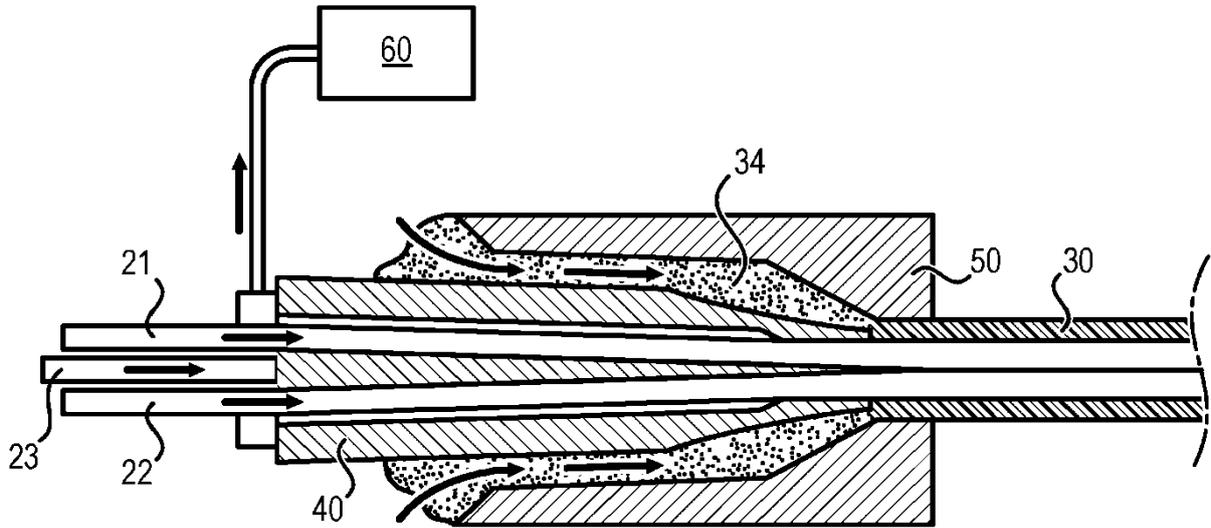


FIG. 5

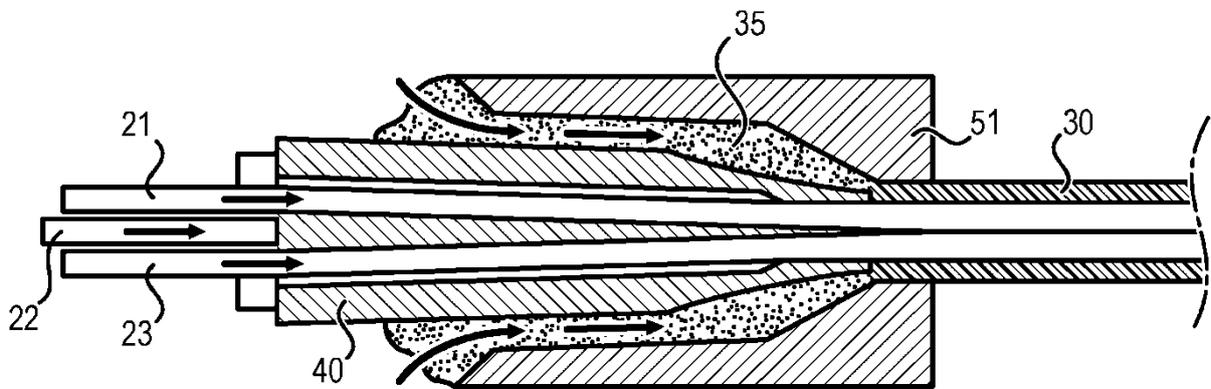


FIG. 6

