

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 070**

51 Int. Cl.:

**G01K 11/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2015 PCT/EP2015/066327**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2016 WO16012351**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2015 E 15747108 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 3172545**

54 Título: **Sensor de temperatura**

30 Prioridad:

**25.07.2014 EP 14178508**

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

**20.02.2019**

73 Titular/es:

**UNIVERSITÉ DE MONS (50.0%)**

**Place du Parc 20**

**7000 Mons, BE y**

**EMPHASE SPRL (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MUSIN, FRÉDÉRIC;**

**WUILPART, MARC y**

**MEGRET, PATRICE**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 701 070 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**

Sensor de temperatura

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar la temperatura distribuida de una fibra óptica.

10

Otro aspecto de la invención se refiere a un sensor de temperatura que implementa el procedimiento de la invención.

Antecedentes

15

La monitorización térmica integrada a lo largo de cables de alimentación subterráneos es de gran interés para la gestión de infraestructuras de transporte de líquido, gas y electricidad. Escenarios de fallo como embalamiento térmico debido a secado del suelo, fallos de conexión, fugas o acciones mecánicas externas pueden provocar daños importantes y herir a las personas. Cualquier fallo no solucionado también puede volverse muy caro. Además, la estimación de vida útil es de gran interés para optimizar la gestión de activos y las inversiones previstas. La monitorización de temperatura de fibra óptica convencional es una herramienta eficaz para abordar estas cuestiones pero se reserva para la infraestructura estratégica debido al elevado coste de las soluciones existentes (basándose en las dispersiones de Raman y Brillouin). El alcance de solicitud de la invención también puede extenderse a la detección de incendios y presencia.

20

25

Se han estudiado ampliamente los sistemas de detección basados en la perturbación de los patrones de interferencia, que permiten la realización de sensores de modo estadístico como se describe por Spillman, W., Kline, B., Maurice, L., & Fuhr, P., en el artículo "Statistical-mode sensor for fiber optic vibration sensing uses", en Applied optics, 28(15), 3166-76., 1979 y más recientemente sensores de fibra de pocos modos como dan a conocer Safaai-Jazi, A., & McKeeman, J. C., en el artículo "Synthesis of Intensity Patterns in Few-Mode Optical Fibers", Journal of Lightwave Technology, 9(SEPTIEMBRE), págs. 1047-1052, 1991 y Kumar, A., Goel, N. K., & Varshney, R. K., en "Studies on a Few-Mode Fiber-Optic Strain Sensor Based on LP 01 -LP 02 Mode Interference", Journal of Lightwave Technology, 19(3), págs. 358-362, 2001.

30

35

Este enfoque se aplicó principalmente a la detección de vibración y deformación. La detección de temperatura basándose en el reconocimiento de patrones es bastante complicada por tres razones principales. En primer lugar mediante los procedimientos habituales sólo puede medirse la variación de temperatura en lugar de la temperatura absoluta. Por tanto, la temperatura se obtiene mediante una operación de integración (respecto al tiempo), que da lugar a derivas de error. En segundo lugar la discriminación entre una fase de calentamiento (variación de temperatura positiva) y una fase de enfriamiento (variación de temperatura negativa) no es sencilla. En tercer lugar la discriminación entre efectos de temperatura y vibración debe ser eficiente.

40

Musin et Al., en "Speckle velocity sensor for underground infrastructure thermal monitoring", Proceedings Symposium IEEE Photonics Society Benelux, nov. 2012, págs. 207-210 un procedimiento para determinar la variación de temperatura distribuida en algunos casos determinando la velocidad promedio de todos los píxeles en una imagen de patrón de interferencia. Este procedimiento no proporciona una indicación del signo de la variación de temperatura.

45

Sumario de la invención

50

La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar la variación de temperatura distribuida de una fibra óptica de pocos modos que comprende las etapas de:

- proporcionar una fibra óptica de pocos modos;

- iluminar un primer extremo de dicha fibra óptica de pocos modos por medio de una fuente de luz coherente;

55

- determinar el patrón de interferencia de la luz coherente en un segundo extremo de la fibra óptica;

- seleccionar un máximo de intensidad en el segundo extremo de la fibra óptica filtrando espacialmente la iluminación en el primer extremo de la fibra óptica;

60

- determinar la longitud del recorrido de la trayectoria del máximo seleccionado de intensidad;

- basándose en la longitud del recorrido determinada de la trayectoria del máximo seleccionado de intensidad, determinar la variación de temperatura de la fibra óptica de pocos modos.

Los extremos primero y segundo pueden corresponder a los extremos proximal y distal de la fibra, o alternativamente coincidir en el extremo proximal, actuando entonces el extremo distal como espejo de modo que el patrón de interferencia medido en el extremo proximal se deduce de la luz reflejada por el extremo distal de la fibra.

5 Las formas de realización preferidas de la presente invención dan a conocer al menos una o una combinación adecuada de las características siguientes:

10 - el signo de la variación de temperatura se determina midiendo la trayectoria del máximo seleccionado de intensidad inducida por una sección de fibra calentada y enfriada cíclicamente insertada en serie en el recorrido óptico de la fibra óptica de pocos modos;

- el procedimiento comprende la etapa de filtrar la longitud del recorrido del máximo de intensidad para suprimir la discontinuidad de la trayectoria inducida por vibraciones;

15 - la fibra óptica es una fibra monomodo a longitudes de onda superiores que una longitud de onda especificada, teniendo la fuente de luz coherente una longitud de onda más corta que dicha longitud de onda especificada;

- el patrón de interferencia se determina por un sensor de cámara, preferiblemente una cámara CMOS;

20 - el procedimiento comprende la etapa de integrar temporalmente la variación de temperatura determinada para determinar la temperatura integrada espacialmente de la fibra;

25 - la fibra comprende un corte o un acoplador a una distancia conocida entre los extremos proximal y distal, definiendo dicho acoplador o corte una primera y una segunda parte de fibra para determinar una variación de temperatura de la primera y segunda parte de la fibra midiendo la(s) longitud(es) del recorrido de la trayectoria del máximo seleccionado de intensidad en los extremos tanto proximal como distal de la fibra;

30 - se utiliza más de una fibra que comprende un corte o un acoplador, estando dispuesto el corte o acoplador a una distancia diferente del extremo proximal, determinándose las trayectorias del máximo seleccionado en ambos extremos de cada fibra para determinar la distribución espacial de la variación de temperatura;

- la variación de temperatura se mide a lo largo de un objeto alargado, preferiblemente seleccionado del grupo que consiste en un cable eléctrico y una tubería de gas.

35 La presente invención da a conocer además un sensor de temperatura integrado para implementar el procedimiento de la invención que comprende:

- una fuente de luz coherente;

40 - una fibra óptica que presenta un comportamiento de pocos modos a la longitud de onda de la fuente de luz coherente, estando conectado ópticamente el extremo proximal de dicha fibra óptica a la fuente de luz coherente;

- medios para seleccionar una propagación de pocos modos que induce un único máximo de intensidad de luz o dos máximos de intensidad de luz en el extremo distal de la fibra óptica;

45 - medios para determinar en uso la longitud del recorrido de dicho máximo de intensidad.

Ventajosamente, dichos medios para seleccionar la propagación de unos pocos modos es un filtro espacial.

50 Figuras

La figura 1 representa un patrón de interferencia de múltiples lóbulos, y los movimientos de los puntos relacionados con las variaciones de temperatura.

55 La figura 2 representa un patrón de interferencia de múltiples lóbulos obtenido por simulación.

La figura 3 representa un patrón de interferencia de dos lóbulos inducido por una propagación de unos pocos modos.

60 La figura 4 representa un patrón de interferencia de dos lóbulos inducido por una propagación de unos pocos modos obtenida por simulación.

La figura 5 representa una trayectoria simulada del máximo de patrón de interferencia como una función de la variación de temperatura, basándose dicha simulación únicamente en la variación de longitud.

65

La figura 6 representa una trayectoria simulada del máximo de patrón de interferencia correspondiente a una simulación de 20 horas.

5 La figura 7 representa la longitud del recorrido de los lóbulos del patrón de interferencia frente al tiempo.

La figura 8 representa la temperatura y la longitud del recorrido total calibrada correspondiente de los lóbulos para una simulación de 20 horas.

10 La figura 9 representa la regresión lineal entre longitud del recorrido total de los lóbulos y temperatura para una simulación de 20 horas.

La figura 10 representa la configuración de laboratorio construida para demostrar el principio de la técnica.

15 La figura 11 representa el efecto oscilante de la sección de fibra calentada y enfriada cíclicamente insertada en serie con la fibra sometida a ensayo.

La figura 12 representa la longitud de lóbulo total del recorrido para un experimento de 24 horas y su regresión lineal con respecto a la temperatura medida real de un conjunto de fibra óptica.

20 La figura 13 representa la configuración de la unión eléctrica.

La figura 14 representa la instrumentación de la unión eléctrica.

25 La figura 15 ilustra la trayectoria de los lóbulos del patrón de interferencia producido por 5 m de fibra G.652D enrollada alrededor de una unión eléctrica.

La figura 16 representa la monitorización térmica de una unión eléctrica durante 48 horas por un sensor de temperatura NTC (línea discontinua) y 5 m de fibra óptica G.652D (línea continua).

30 La figura 17 ilustra la regresión lineal entre temperatura medida y longitud del recorrido de lóbulos.

La figura 18 representa un conjunto de fibra óptica para implementar una técnica de fibra parcheada.

35 La figura 19 representa un conjunto de fibra óptica para implementar una técnica de fibra cortada.

La figura 20 representa un conjunto de fibra óptica para implementar una técnica de reflexión múltiple.

La figura 21 representa un conjunto de fibra óptica para implementar una técnica de retrodispersión.

40 Palabras clave

1: sensor de fibra óptica de interferencia intermodal, moteado, fibra de pocos modos.

45 Descripción detallada de la invención

En la presente invención una fibra óptica de pocos modos es una fibra óptica que se hace funcionar a una longitud de onda a la que se permite más de un modo de propagación, pero en la que el número de modos de propagación está limitado a un valor que permite un patrón de interferencia con uno o de manera transitoria dos lóbulos. Estas condiciones de pocos modos pueden obtenerse en las denominadas fibras de pocos modos. Normalmente, esto se obtiene utilizando una fibra óptica que tiene menos de 30 (preferiblemente menos de 12) modos de propagación a la longitud de onda utilizada.

50 En la presente descripción, el término "lóbulo" se entenderá como una parte contigua del patrón de interferencia cuya intensidad es mayor que un nivel umbral y que comprende un máximo local de intensidad.

55 Preferiblemente, el número de modos de propagación está limitado a un valor que permite sólo un lóbulo. Sin embargo, de manera transitoria puede aparecer un segundo lóbulo.

60 La temperatura afecta a la propagación de la luz en una fibra óptica principalmente de dos maneras: expansión térmica y variación del índice de refracción. La expansión térmica y la modulación del índice de refracción son responsables de la variación de la longitud del recorrido y la constante de propagación, respectivamente. Considerando una fibra multimodo y una fuente de luz coherente, las modulaciones de la longitud del recorrido y de la constante de propagación producen un patrón de interferencia en movimiento denominado moteado cuando el haz de luz a la salida de la fibra se proyecta sobre una cámara.

65

El patrón de interferencia en movimiento es responsable del ruido modal y se estudió por primera vez como efecto perjudicial. Se ha utilizado una herramienta numérica basada en el desarrollo descrito en Snyder, A. W., & Love, J. D. (1983). Optical Waveguide Theory (Chapman an.), que resuelve las ecuaciones de propagación para una fibra de salto de índice con el fin de calcular el patrón de interferencia representado en la figura 3. En el núcleo de la fibra se resuelven campos espaciales con la suposición de guía débil y el cálculo del vector de Poynting lleva a la distribución espacial de potencia. La presencia de una gran cantidad de modos produce un patrón de múltiples puntos como se muestra en las figuras 1 y 2, mientras que una configuración de unos pocos modos produce un patrón de interferencia de un único lóbulo o de manera transitoria de lóbulo doble como se muestra en las figuras 3 y 4. El procedimiento de la invención para la detección de temperatura se basa en el análisis de un desplazamiento de un único lóbulo o de lóbulo doble medido por ejemplo por una cámara CMOS. La configuración de unos pocos lóbulos es más apropiada para un procesamiento de imágenes eficiente. Esta configuración puede obtenerse mediante filtrado en modo espacial.

Se ha observado que la longitud de desplazamiento de los lóbulos con respecto al tiempo depende de la variación de temperatura integrada a lo largo de la fibra.

Como la trayectoria de los lóbulos es reversible (misma trayectoria tras el calentamiento y enfriamiento pero en sentido opuesto), el signo de la variación de temperatura puede determinarse por la dirección de la velocidad del máximo.

Preferiblemente, el signo de la variación de temperatura se determina mediante el uso de una sección de fibra ubicada en el recorrido óptico, calentándose y enfriándose cíclicamente dicha sección. Para evitar una confusión entre los movimientos de los lóbulos debido a esta variación de temperatura cíclica y la variación de temperatura que va a medirse, la frecuencia de ciclo es al menos 2 veces mayor que el fenómeno estudiado a máxima frecuencia. Preferiblemente, la frecuencia de ciclo es 4 veces o incluso más preferiblemente 8 veces mayor que la máxima frecuencia del fenómeno estudiado.

Ventajosamente, la reversibilidad de la trayectoria y la medición del desplazamiento absoluto de los lóbulos comparado con una posición inicial permiten medir la diferencia de temperatura absoluta con una temperatura inicial. Esta técnica limita los errores de deriva gracias a las mediciones de desplazamiento de lóbulo unidas directamente a la temperatura en lugar de las mediciones de velocidad de lóbulo unidas a la variación de temperatura. De hecho, las mediciones de velocidad necesitan una integración con respecto al tiempo lo que produce una deriva de error.

#### Simulación numérica

Se han llevado a cabo simulaciones numéricas seleccionando los modos HE11 (modos híbridos), TE01 (modo eléctrico transversal), TM01 (modo magnético transversal), HE21, HE31, EH11 y HE12 de una fibra G.652 utilizada a 850 nm, produciendo un patrón de interferencia de un único lóbulo o de manera transitoria un lóbulo doble como se muestra en las figuras 3 y 4.

La trayectoria de los lóbulos se presenta en las figuras 5 como ejemplo. Para ilustrar esto, se han calculado las coordenadas del centro de gravedad del punto y se han registrado para el esquema de variación de temperatura representado en la figura 8. La temperatura varía desde 0 a 140°C en 20 horas. La trayectoria resultante se representa en la figura 6. Esta trayectoria se construye formando umbrales del nivel de luminosidad de la imagen de patrón de interferencia con el fin de mejorar la ubicación de los lóbulos. A continuación, se calcula el centro de gravedad del patrón de interferencia con el fin de ubicar los centros de lóbulo. En la figura 7 se presenta la longitud del recorrido resultante. La longitud del recorrido total de los puntos es proporcional a la temperatura como puede observarse en la regresión lineal de la figura 9.

Como la trayectoria de los lóbulos es reversible, el signo de la variación de temperatura puede determinarse por la dirección de la velocidad del máximo (posición de lóbulo). La trayectoria se procesa con el fin de discriminar el calentamiento y enfriamiento gracias a una sección de fibra de 20 m (colocada antes de la fibra de detección, véase la figura 10) calentada y enfriada cíclicamente. La figura 11 ilustra este efecto oscilante. Dependiendo de si la sección de fibra se enfría o calienta, aumenta o disminuye la celeridad de los lóbulos dependiendo de si se enfría o calienta la fibra sometida a ensayo. Este movimiento impuesto en los lóbulos se procesa para determinar si la fibra se está enfriando o calentando. La frecuencia del movimiento impuesto se elige diez veces mayor que el fenómeno estudiado a máxima frecuencia.

Además, la reversibilidad de la trayectoria y la medición del desplazamiento absoluto de los lóbulos comparado con una posición inicial permiten medir la diferencia de temperatura absoluta con una temperatura inicial. Esta técnica limita los errores de deriva gracias a las mediciones de desplazamiento de los lóbulos unidas directamente a la temperatura en lugar de las mediciones de velocidad de los lóbulos unidas a la variación de temperatura. De hecho, las mediciones de velocidad necesitan una integración con respecto al tiempo lo que produce una deriva de error.

#### Ensayo de laboratorio

Como se representa en la figura 10, una configuración experimental compuesta por 200 metros de una sección de fibra G.652 utilizada a 850 nm y completamente sumergida en un tanque de agua de temperatura controlada lleva también al valor de sensibilidad de 1 píxel/K.m para una proyección sobre una cámara de 200\*200 píxeles y una tasa de muestreo de 2 fotogramas por segundo. La figura 12 representa los resultados experimentales a lo largo de 86 cuartos de hora. Puede observarse que la longitud del recorrido total es proporcional a la diferencia de temperatura con respecto a la temperatura inicial de 11,2°C. Las oscilaciones de la temperatura calculada alrededor del valor de referencia de 20°C se deben a las fases de enfriamiento y recalentamiento por las resistencias eléctricas en el tanque de agua (variación de regulación alrededor del valor de referencia).

10 Ensayo de campo

Se aplicó la configuración representada en la figura 10 a las uniones eléctricas que muestran un comportamiento de fallo. Se instrumentaron tres uniones eléctricas como se muestra en las figuras 13 y 14. Se enrolló una fibra de 5 m de largo alrededor de cada unión. Se cargó el cable con 200 A, 400 A y 600 A durante las 3 primeras horas.

15 La instalación comprende un láser DFB de 850 nm que emite una potencia óptica de 1 mW y un conector de filtrado en modo espacial acoplado a la entrada de fibra. En la salida, una cámara de 5 megapíxeles controlada por una plataforma FPGA se acopla a la fibra. La imagen se muestrea a 60 fotogramas por segundo por un PC utilizando un captador de fotogramas convencional y se procesa numéricamente. Se alcanza el objetivo de bajo coste utilizando una cámara web básica como cámara y un láser de 850 nm convencional. Sin embargo, es necesaria una longitud de coherencia suficiente para proporcionar una interferencia limpia. El ancho de línea adecuado depende del intervalo de distancia y la dispersión intermodal de fibras. Se utilizó un ancho de línea de 1 MHz, que es suficiente para ampliar el alcance de la técnica a 20 km. También se prestó una especial atención al contraste del patrón de interferencia mediante el control preciso de exposición de la cámara. El algoritmo puede descomponerse en tres etapas: cálculo del centro de gravedad de la imagen, filtrado espectral para reducir el ruido debido a estrés mecánico sobre la fibra y cálculo de trayectoria. La figura 15 muestra trayectoria de lóbulo registrada del patrón de interferencia durante 48 horas.

30 Se registraron las temperaturas durante 48 horas. La figura 16 muestra por un lado la temperatura de la unión medida por un sensor de temperatura convencional y por el otro lado longitudes del recorrido de lóbulos calibradas. La figura 17 ilustra la regresión lineal entre temperatura medida y longitud del recorrido de lóbulos calculada. La histéresis observada puede explicarse parcialmente por una mayor sensibilidad de la fibra comparado con el sensor NTC. Como se predijo, puede observarse que la deriva de error está limitada después de 48 horas de muestreo.

35 Sensores resueltos espacialmente

Ventajosamente, el sensor de temperatura de la invención comprende medios para resolver espacialmente la variación de temperatura. Están disponibles cuatro técnicas diferentes.

40 Técnica de fibra enlazada

Esta técnica se representa en la figura 18. Se coloca una fuente láser y un dispositivo de filtrado de modo (S) en una subestación en un extremo de un conjunto de fibras compuesto por varias fibras. La luz se transmite a través de N-1 fibras por acopladores. Se realizan N uniones en compartimentos de unión colocados a lo largo de todo el cable. El patrón de interferencia saliente de N fibras se proyecta preferiblemente en 2 cámaras. Una se ubica en la subestación 1, la otra se ubica en la subestación 2. Es importante señalar que los patrones pueden proyectarse simultáneamente en cada cámara. Esto significa que pueden coexistir varios moteados en la misma imagen/vídeo. Por ejemplo, un sensor CMOS de 5 megapíxeles de bajo coste (C) puede detectar al menos 12 campos de patrones que se originan de 12 extremos de fibras ópticas diferentes. Esta técnica puede monitorizar por separado N+1 secciones por 2.N + 1 fibras.

Técnica de fibra cortada

55 Los ensayos realizados a 850 nm en una fibra G.652 muestran que es necesaria muy poca potencia para hacer que una cámara CMOS convencional sea eficiente. Como se muestra en la figura 19, la configuración de reflexión y la sustitución de la unión mediante corte permiten disminuir el número de fibras requeridas para el mismo número de secciones. En esta configuración el patrón de interferencia puede proyectarse sobre una o 2 cámaras. Son necesarias N fibras para monitorizar N secciones. Es más fácil conseguir un corte de fibra limpio que una unión. También pueden utilizarse un retrorreflector o un espejo. Para cada sección, esta técnica implica al menos 14 dB de pérdida para el corte y una pérdida de 2 veces 3 dB para las dos pasadas en los acopladores, 20 dB en total. El uso de retrorreflectores puede reducir este valor a menos de 10 dB.

Reflexión múltiple

65 En la figura 20 se describe una configuración de reflexión múltiple. Con el fin de mejorar la sensibilidad de la técnica, puede utilizarse la reflexión múltiple de la siguiente manera. Se lanza un pulso de luz de duración  $T_p$  en el conjunto

de fibra. Este pulso se refleja a la cámara CMOS después de un periodo de tiempo  $L/v$ . Para una sección de 100 m de largo, esto tarda aproximadamente  $1 \mu\text{s}$ , trayectoria de ida y vuelta. Si se coloca un espejo en la subestación y se consideran  $R$  reflexiones en esta sección, se observa un pulso después de  $R \mu\text{s}$ . Si se sincroniza la cámara CMOS en este momento de llegada y si la longitud de pulso es menor de  $R \mu\text{s}$ , se amplifica la sensibilidad del patrón con un factor de  $R$ . Las pérdidas de reflexión limitan  $R$ . El uso de espejos de pérdida reducida permite realizar 10 reflexiones con una fuente de 100 mW (láser) y un sensor CMOS convencional. Esto significa que la sensibilidad podría mejorarse por un factor de 10.

#### Retrodispersión

En la figura 20 se describe una configuración de retrodispersión. En esta configuración se lanza un pulso en el extremo proximal de la fibra. Parte de la potencia de luz se sufre una retrodispersión al extremo proximal. Es posible la localización de un evento mediante una sincronización adecuada entre el disparador del pulso lanzado y la cámara.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para determinar la variación de temperatura distribuida promedio de una fibra óptica de pocos modos que comprende las etapas de:
- 5 - proporcionar una fibra óptica de pocos modos;
- iluminar un primer extremo de dicha fibra óptica de pocos modos por medio de una fuente de luz coherente;
- 10 - determinar un patrón de interferencia intermodal de luz coherente en un segundo extremo de la fibra óptica;
- caracterizado por que el procedimiento comprende además las etapas de:
- 15 - seleccionar un máximo de intensidad del patrón de interferencia intermodal en el segundo extremo de la fibra óptica aplicando un filtrado de modo espacial a la iluminación en el primer extremo de la fibra óptica;
- determinar una longitud del recorrido de una trayectoria del máximo seleccionado de intensidad del patrón de interferencia intermodal;
- 20 - basándose en la longitud del recorrido determinada de la trayectoria del máximo seleccionado de intensidad, determinar la variación de temperatura distribuida promedio de la fibra óptica de pocos modos.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el signo de la variación de temperatura se determina midiendo la trayectoria del máximo seleccionado de intensidad inducida por una sección de fibra calentada y enfriada cíclicamente insertada en serie en el recorrido óptico de la fibra óptica de pocos modos.
- 25 3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, que comprende la etapa de filtrar la longitud del recorrido del máximo de intensidad para suprimir la discontinuidad de la trayectoria inducida por vibraciones.
- 30 4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fibra óptica es una fibra monomodo a longitudes de onda superiores en comparación con una longitud de onda especificada, teniendo la fuente de luz coherente una longitud de onda más corta que dicha longitud de onda especificada.
- 35 5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón de interferencia se determina por un sensor de cámara.
6. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que el sensor de cámara es una cámara CMOS.
- 40 7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la etapa de integrar temporalmente la variación de temperatura determinada para determinar la temperatura integrada espacialmente de la fibra.
- 45 8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la fibra comprende un corte o un acoplador a una distancia conocida entre los extremos proximal y distal, definiendo dicho acoplador o corte una primera y una segunda parte de fibra para determinar una variación de temperatura de la primera y segunda parte de la fibra midiendo la longitud del recorrido de la trayectoria del máximo seleccionado de intensidad en los extremos tanto proximal como distal de la fibra.
- 50 9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que se utiliza más de una fibra que comprende un corte o un acoplador, estando dispuesto el corte o acoplador a una distancia diferente del extremo proximal, determinándose las trayectorias del máximo seleccionado en ambos extremos de cada fibra para determinar la distribución espacial de la variación de temperatura.
- 55 10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para medir la variación de temperatura a lo largo de un objeto alargado.
11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que el objeto alargado se selecciona del grupo que consiste en un cable eléctrico y una tubería de gas.
- 60 12. Sensor de temperatura integrado configurado para implementar el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende:
- una fuente de luz coherente;
- 65 - una fibra óptica que presenta un comportamiento de pocos modos a la longitud de onda de la fuente de luz coherente, estando conectado ópticamente el extremo proximal de dicha fibra óptica a la fuente de luz coherente;

- un filtro espacial para seleccionar una propagación de pocos modos que induce un único máximo de intensidad de luz o dos máximos de intensidad de luz en el extremo distal de la fibra óptica;

5 - medios configurados para determinar en uso la longitud del recorrido de la trayectoria de dicho máximo de intensidad.

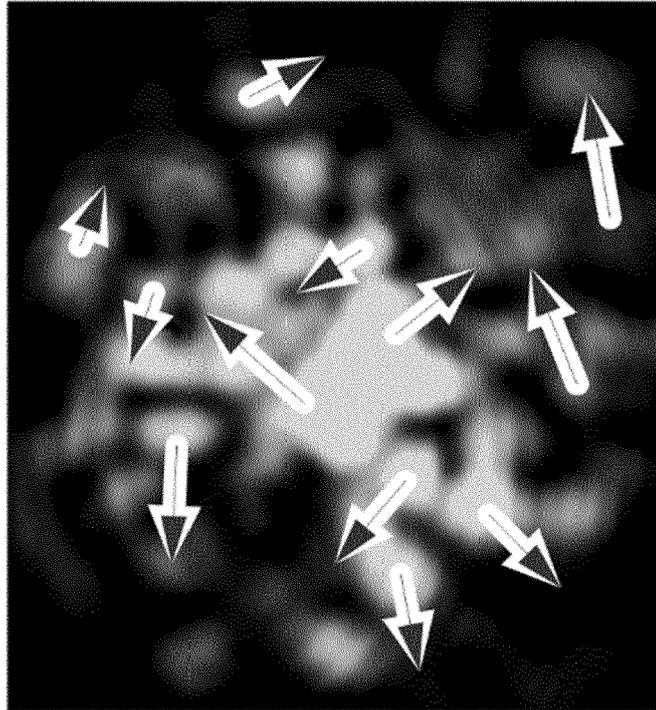


Figura 1

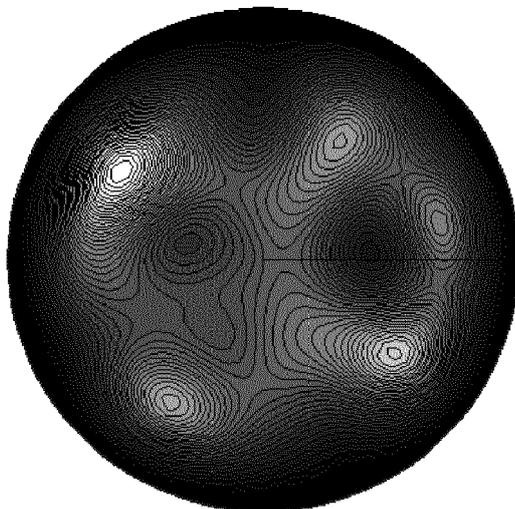


Figura 2

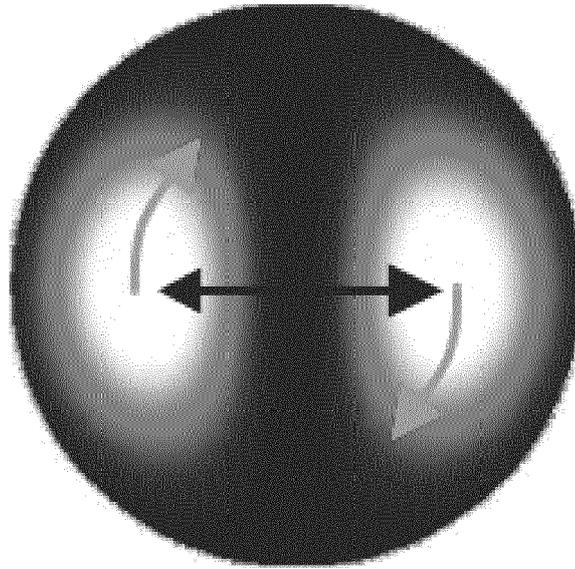


Figura 3

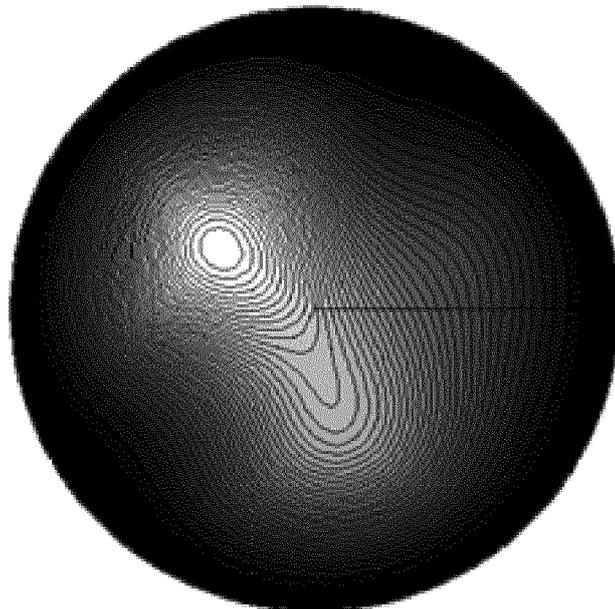


Figura 4

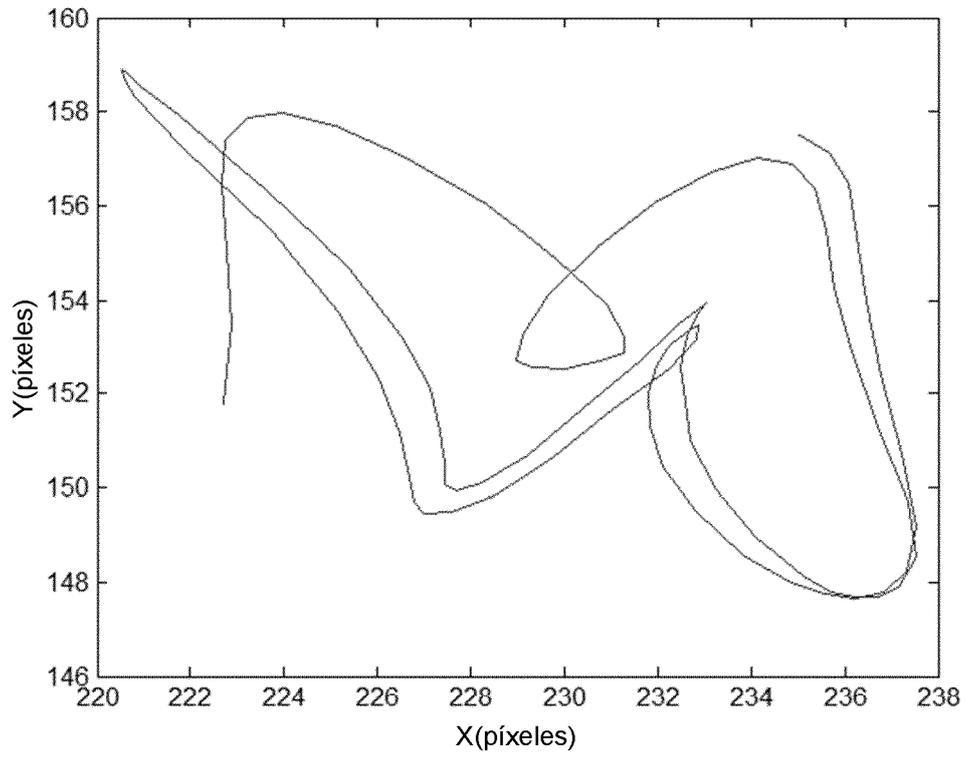


Figura 5

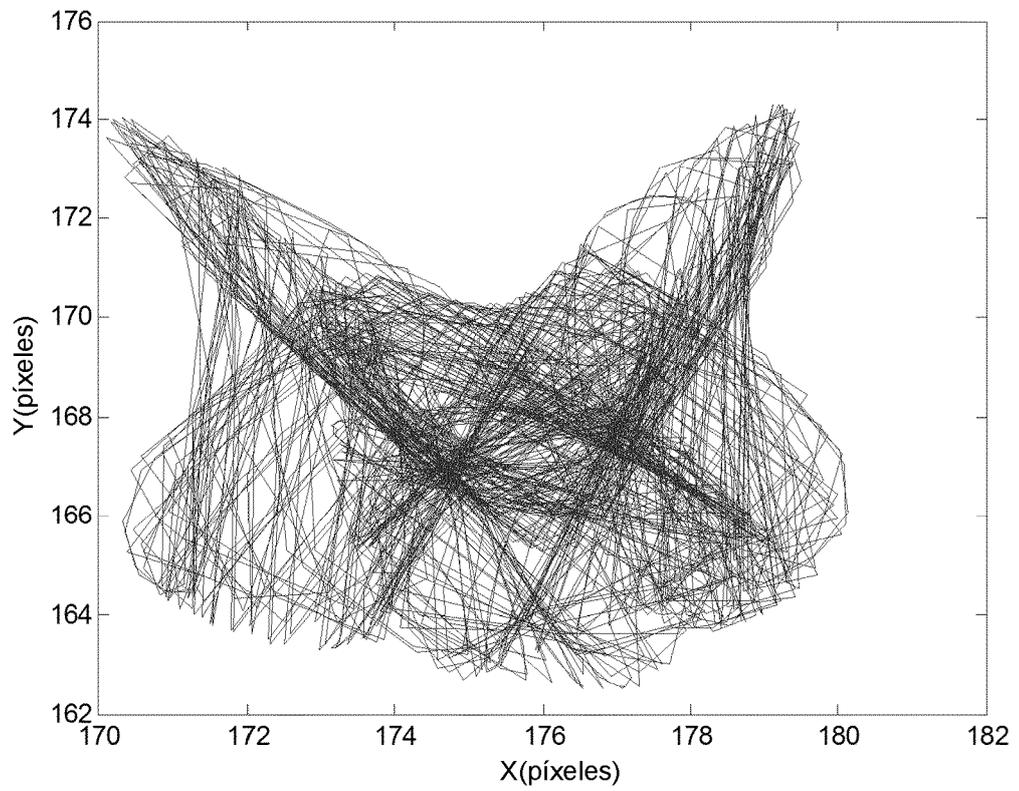


Figura 6

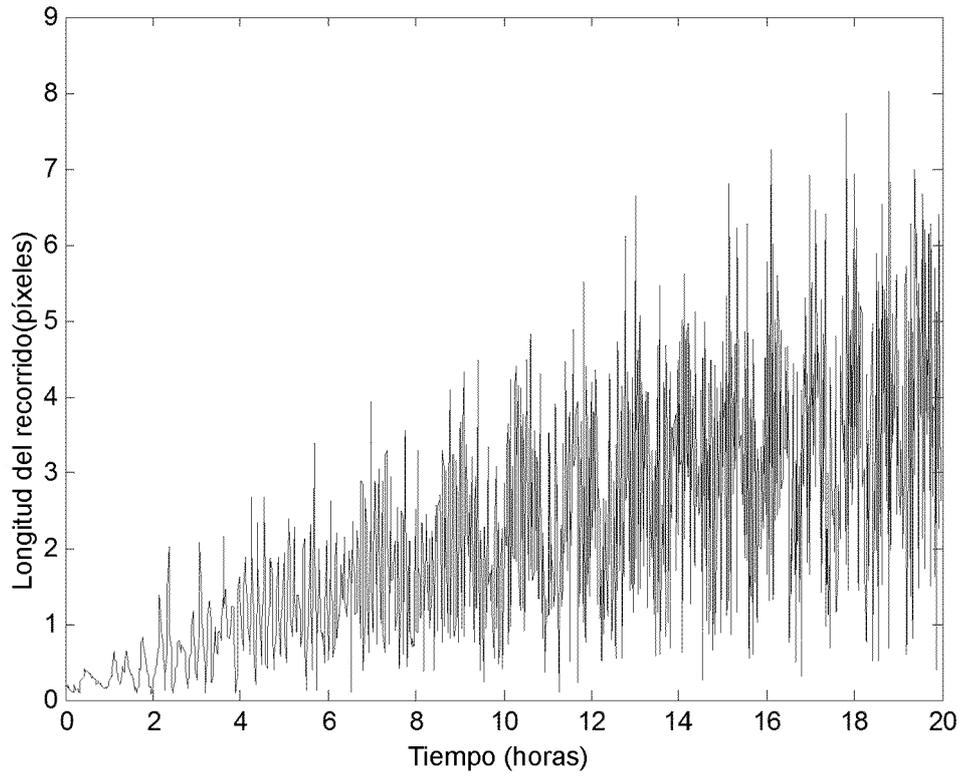


Figura 7

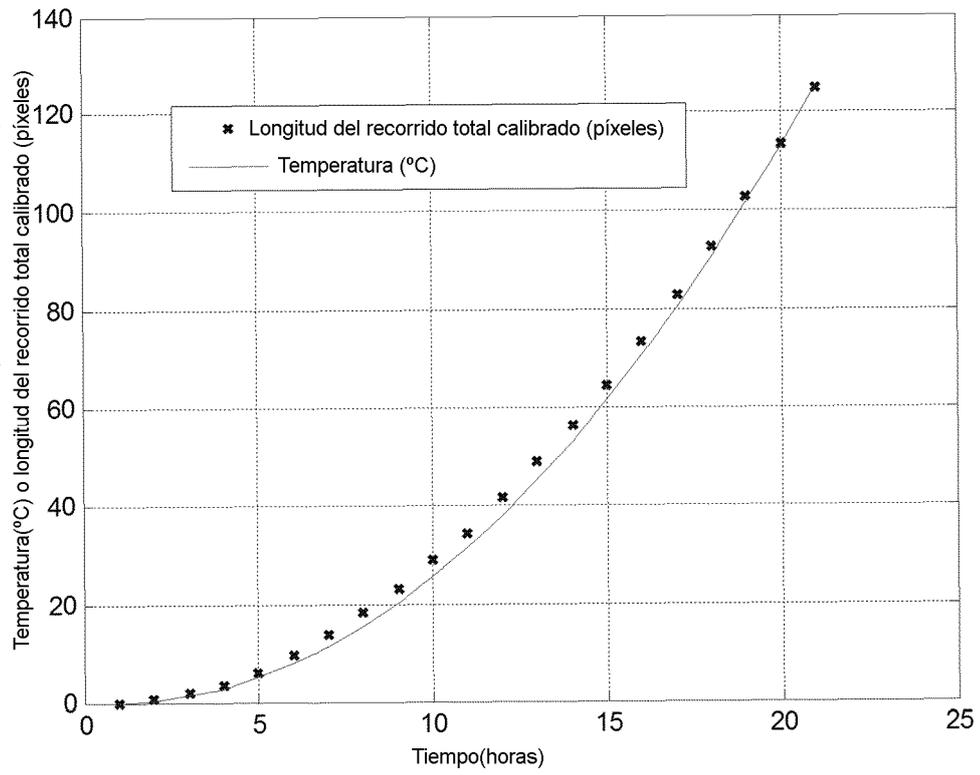


Figura 8

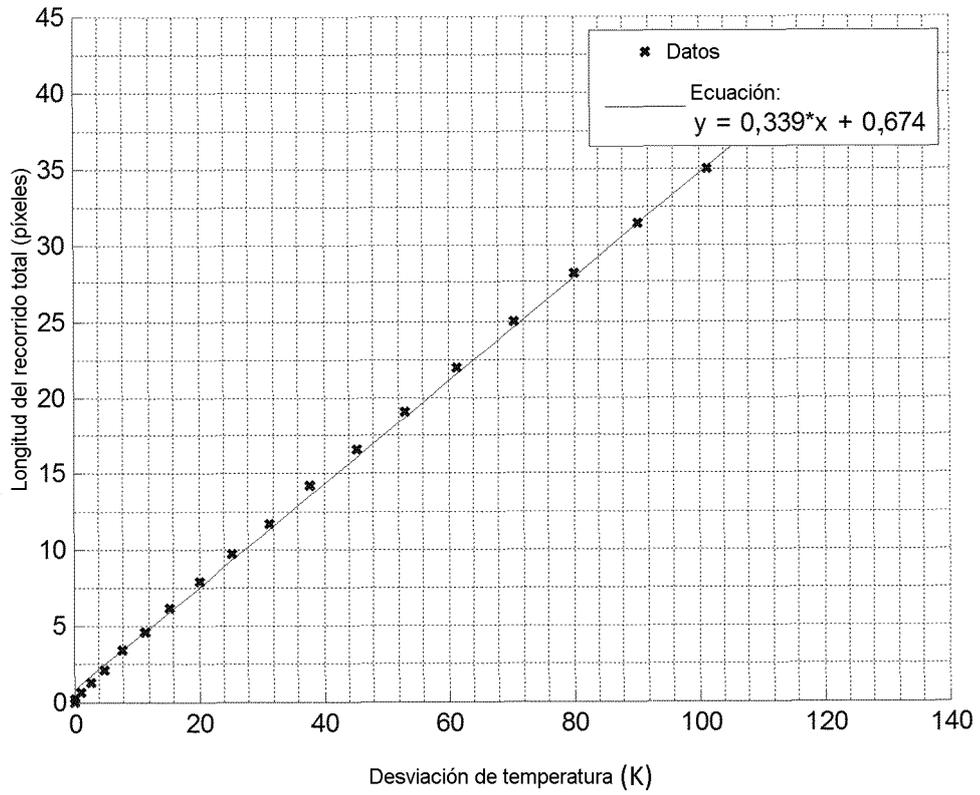


Figura 9

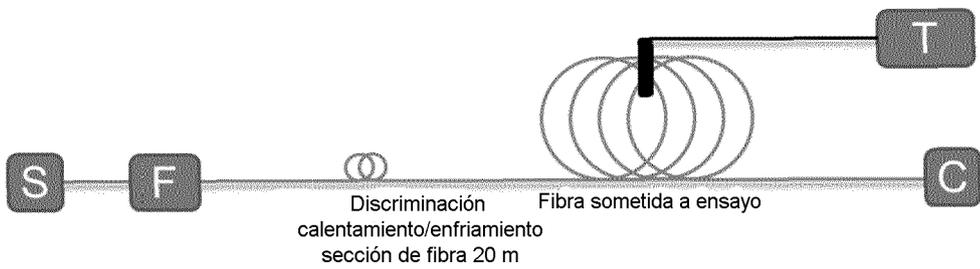


Figura 10

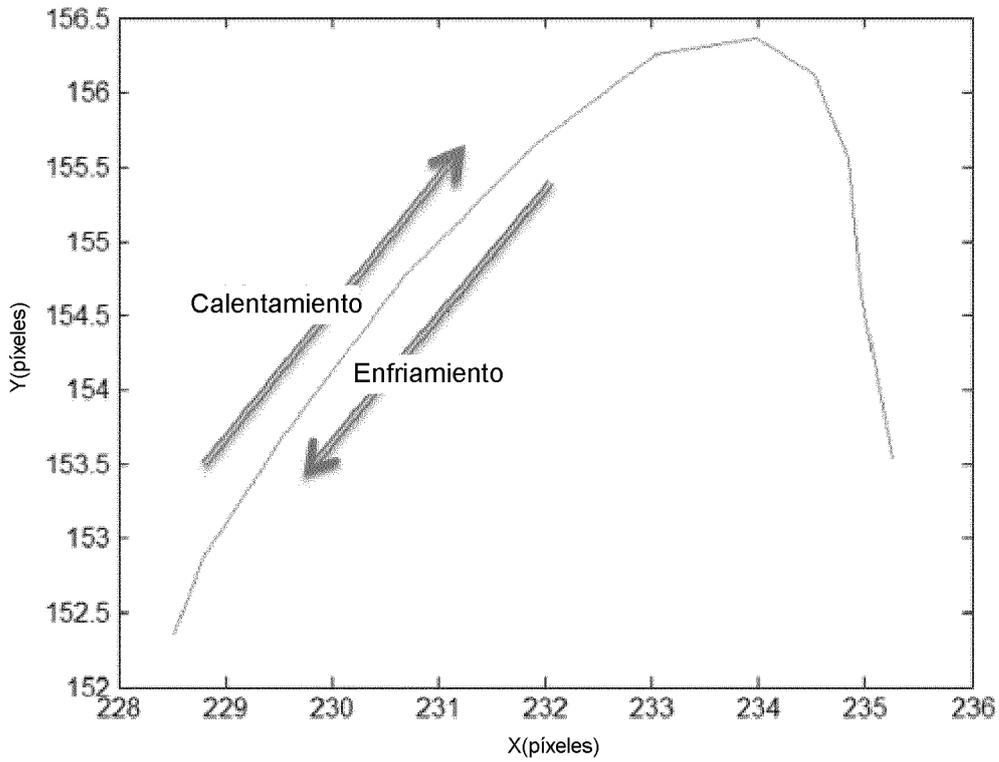


Figura 11

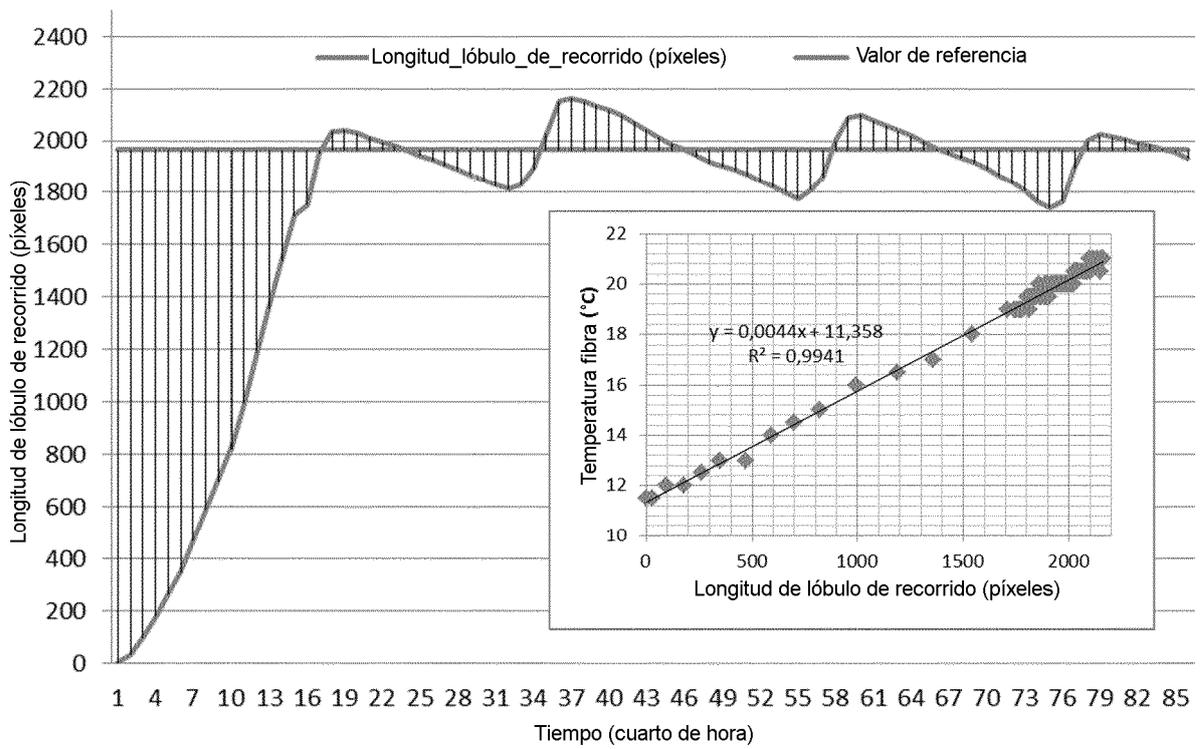


Figura 12

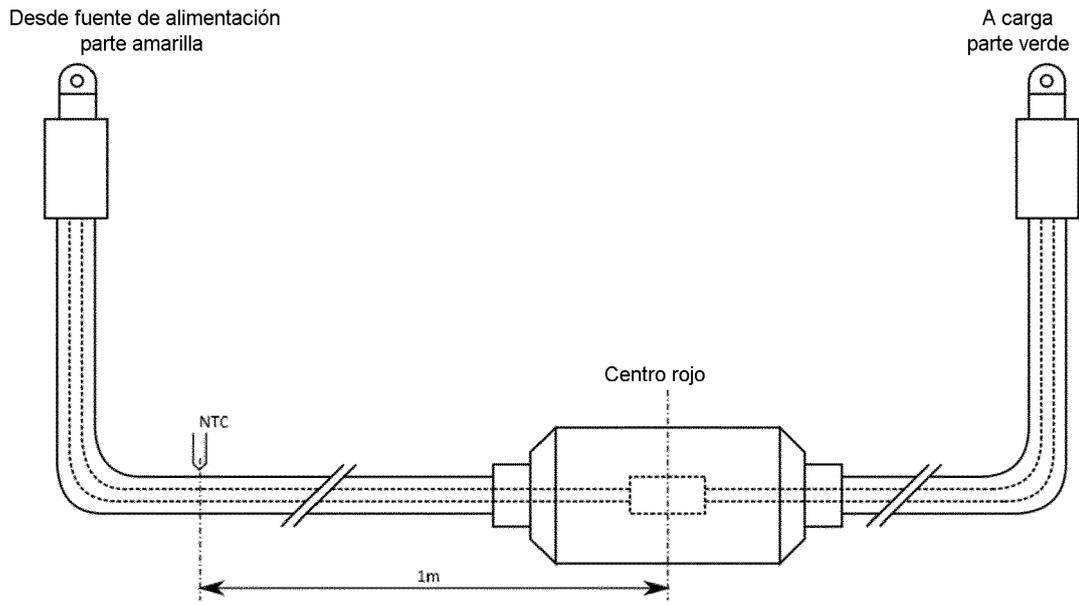


Figura 13

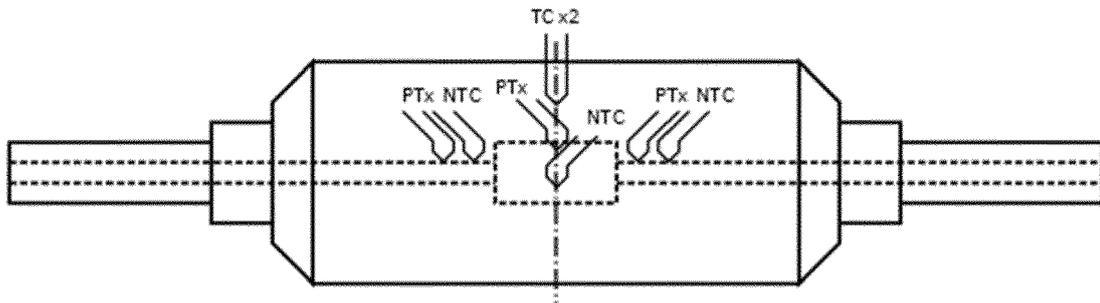


Figura 14

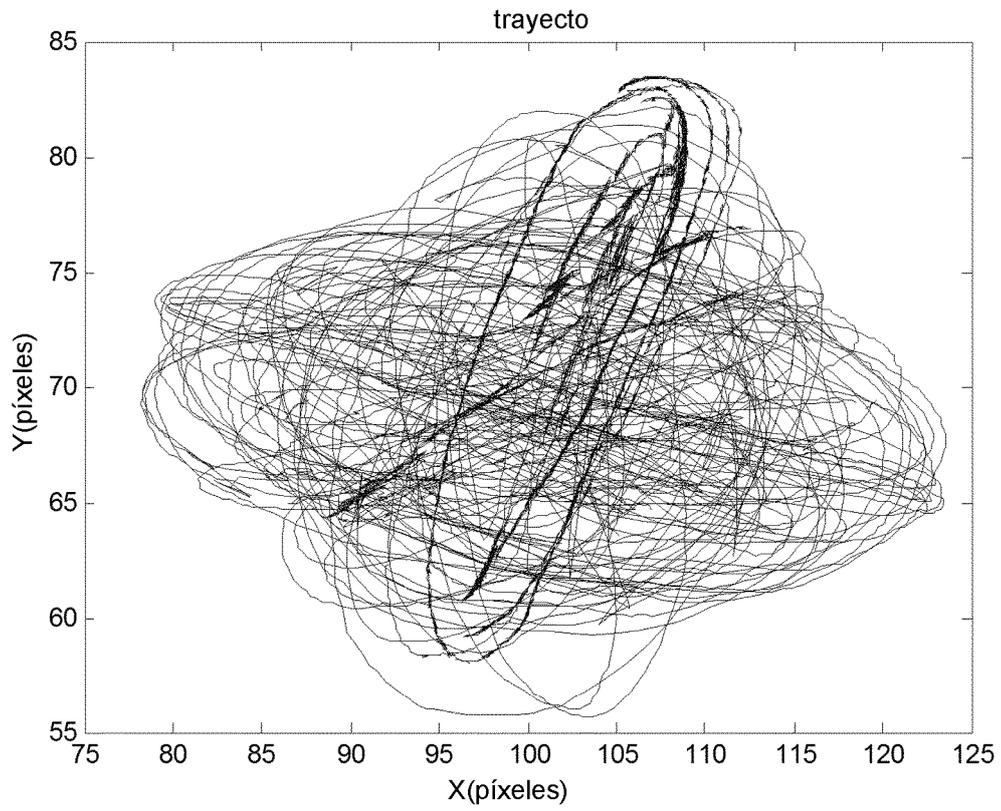


Figura 15

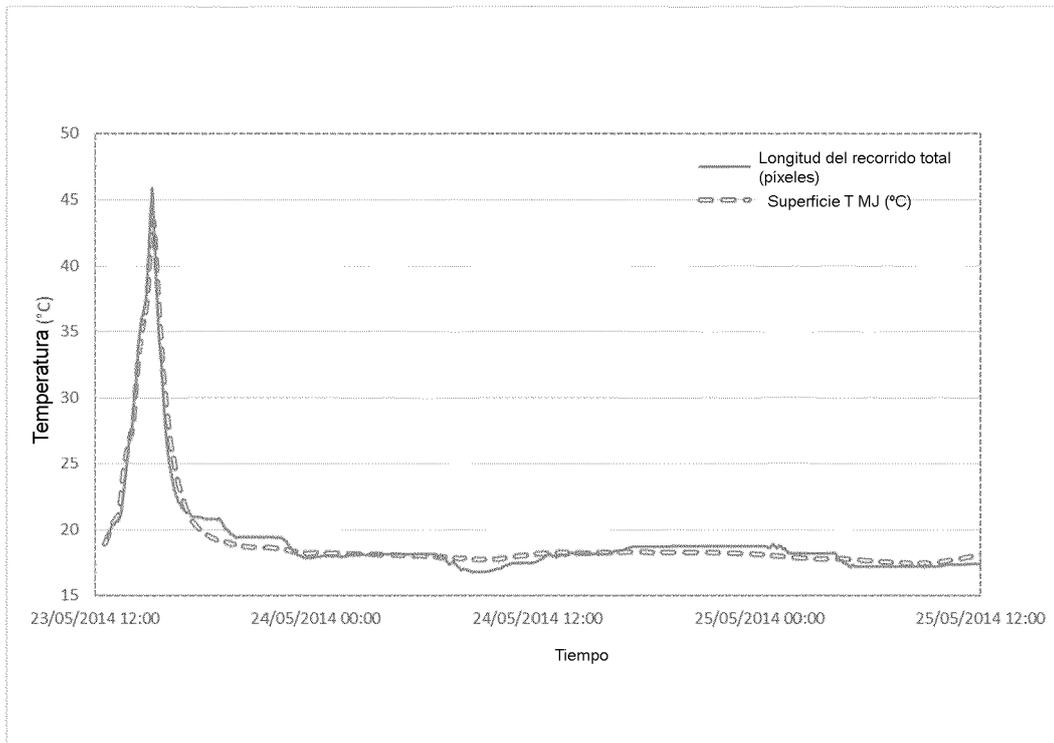


Figura 16

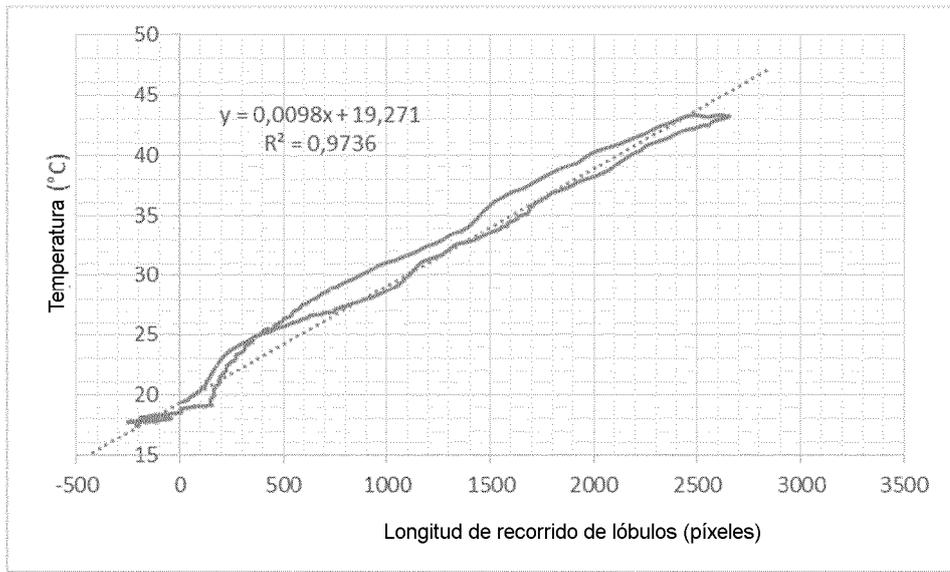


Figura 17

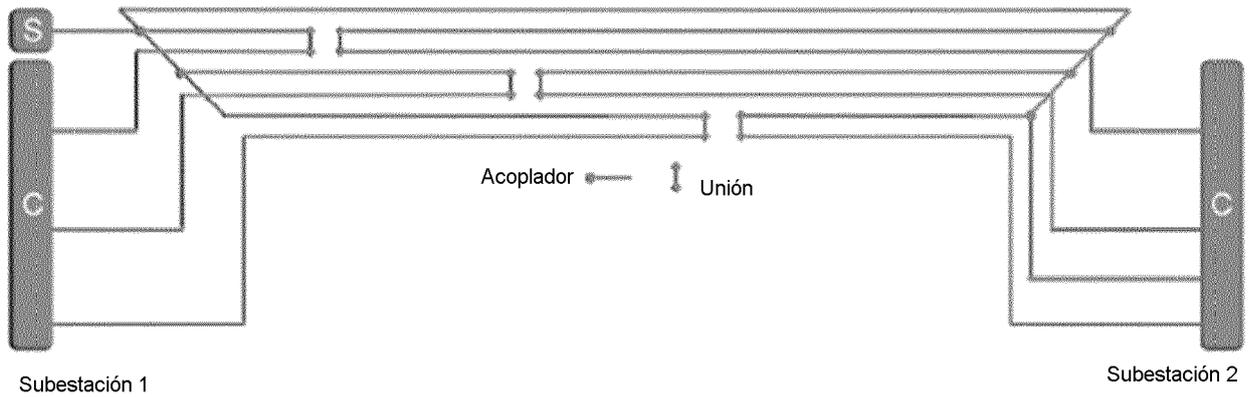


Figura 18

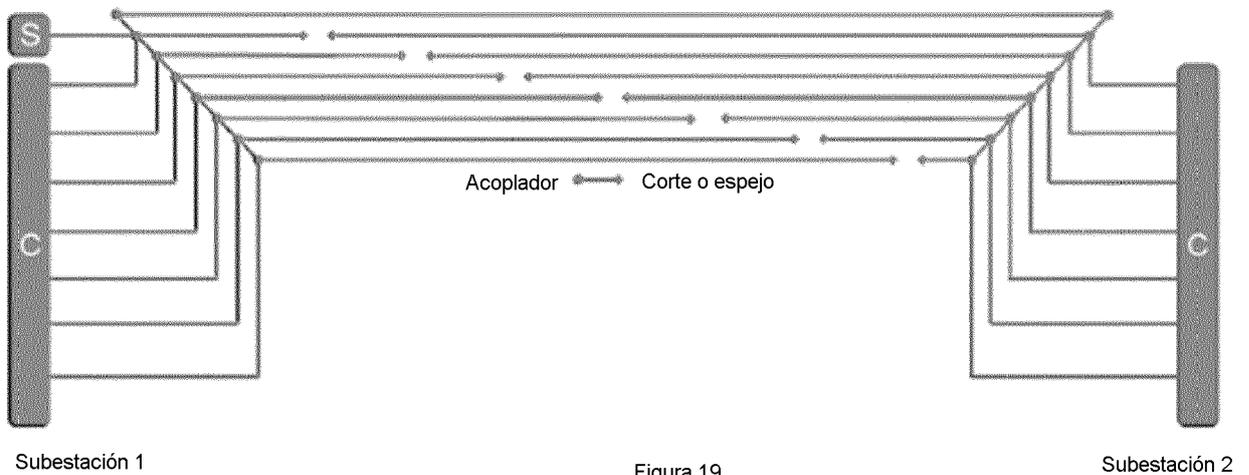


Figura 19

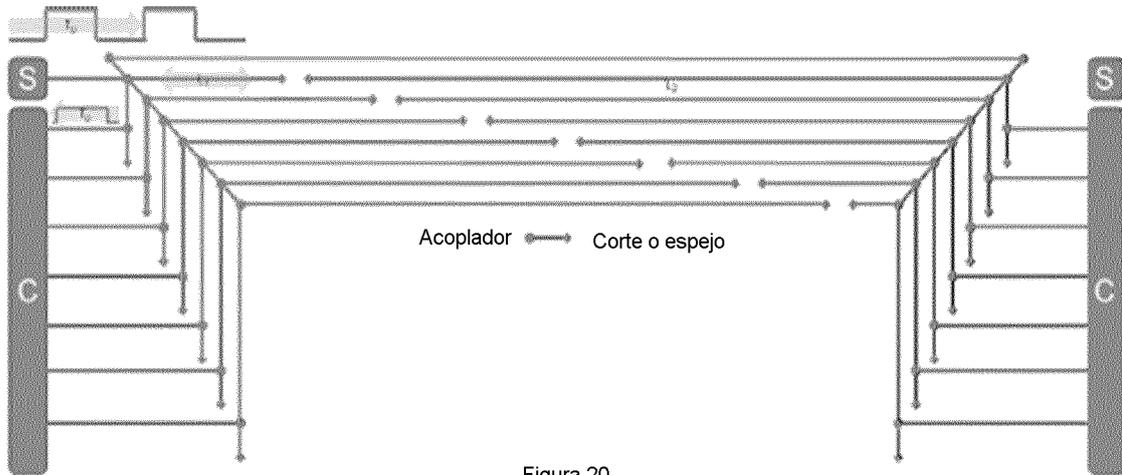


Figura 20

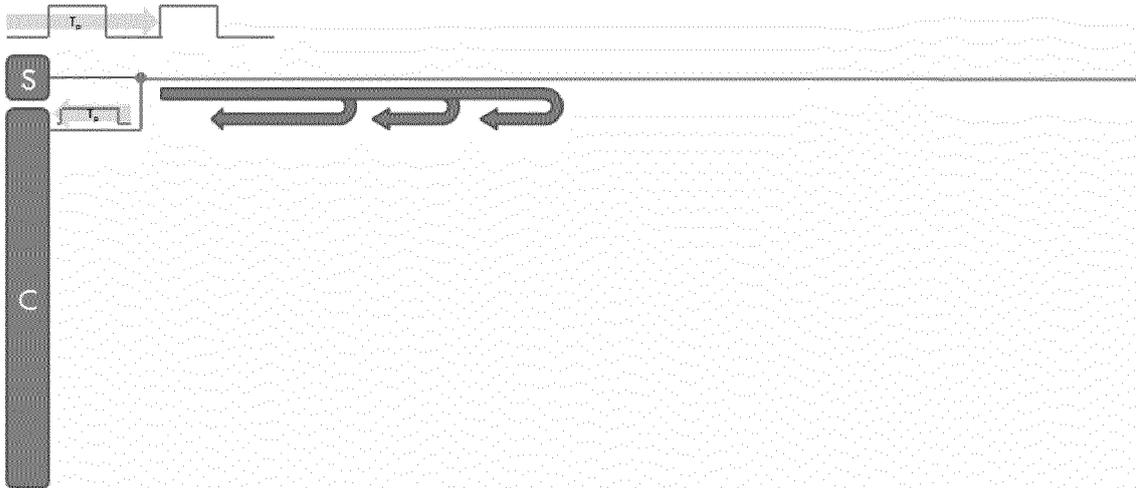


Figura 21