

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 498 815**

51 Int. Cl.:

G01P 13/00 (2006.01)

G01M 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2005 E 05748527 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 1747472**

54 Título: **Método y aparato de un sensor de fibra óptica**

30 Prioridad:

21.05.2004 CA 2467898

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

25.09.2014

73 Titular/es:

**PURE TECHNOLOGIES LTD. (100.0%)
Third Floor, 705 - 11th Avenue S.W.
Calgary, Alberta T2R 0E3, CA**

72 Inventor/es:

PAULSON, PETER O.

74 Agente/Representante:

RIZZO, Sergio

ES 2 498 815 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

Método y aparato de un sensor de fibra óptica

Campo de la invención

5 **[0001]** Esta invención hace referencia a un método para identificar una alteración de interés utilizando un interferómetro de fibra óptica y encontrando la ubicación de la alteración utilizando un sistema de sensor separado. Las alteraciones de interés pueden ser, por ejemplo, la ruptura de cables de refuerzo en una tubería de hormigón, la ruptura de los cables dentro de los cables de suspensión, una fuga en tubería, o una intrusión por parte de un humano o un vehículo.

Antecedentes de la invención

10 **[0002]** Existen sensores de fibra óptica que pueden controlar los eventos a una distancia de veinte kilómetros o más y que pueden funcionar con una potencia relativamente baja. Dichos sensores de fibra óptica pueden detectar alteraciones acústicas y sísmicas, como por ejemplo las pisadas de un intruso cerca de un perímetro controlado, los ruidos asociados con el daño intencionado a una pieza controlada de infraestructura como un cable eléctrico o de comunicaciones, el ruido de una fuga en una tubería, o la ruptura de un cable de refuerzo en una tubería de hormigón o un cable en un cable puente. Algunos de esos sensores tienen rejillas detectoras espaciadas mediante partes protegidas, para que la ubicación de una alteración pueda encontrarse al determinar en qué rejilla(s) se detecta la alteración. Otros utilizan una luz de láser pulsado, donde las señales reflejadas provocadas por una alteración se reflejan de vuelta al origen y la ubicación desde la que vienen las señales se determina por el lapso de tiempo desde el impulso hasta la recepción de la señal reflejada.

20 **[0003]** Dichos sensores de fibra óptica no han sido muy eficaces, ya que muchos tipos diferentes de alteraciones pueden desencadenar una respuesta. Una vez que una respuesta se desencadena, la ubicación de la que proviene debe investigarse para determinar si está presente una condición que requiere una acción correctiva. Además, los sensores que dependen del reflejo de un impulso pueden perder o malinterpretar efectos transitorios que tienen su efecto máximo en un momento en el que el impulso no está escaneando la ubicación particular cuando ocurren.

25 **[0004]** Los sensores de interferometría son conocidos por ser sensibles al mensurando para una longitud larga, por ejemplo, la longitud total del sensor de fibra óptica. Debido a que la longitud total o una longitud larga en el área de interés es sensible al mensurando, una señal que indica una alteración se adquiere en o muy cerca de la fuente de la alteración. Esto proporciona una ventaja en la relación señal-ruido, ya que el sensor no se desplaza de manera longitudinal desde la alteración a lo largo de la fibra, como es el caso cuando existen sensores fijos espaciados. Debido a que la distancia desde el punto de detección más cercano a la fuente de la alteración se minimiza, el deterioro de la relación señal-ruido relacionando la atenuación de señal con la distancia también se minimiza.

30 **[0005]** Los sensores de interferometría son conocidos en la técnica y se conocen varios tipos como por ejemplo un sensor de interferometría de efecto Sagnac mostrado en Udd USP 5.636.021 o un sensor de interferometría Michelson según se muestra en Jones et al USP 4.725.143.

35 **[0006]** Encontrar la ubicación en la que ocurrió la alteración junto con la longitud de un sensor de interferometría resulta difícil. Udd (USP 5.636.021), Tapanes et al. (USP 6.621.947) y Kyoo, Juarez y Taylor ((2003) SPIE, Vol. 5090. Pp 131-141 han intentado conseguir la ubicación de la alteración utilizando radios de amplitud de haces contra la propagación (Udd), tiempos de llegada de las alteraciones en los interferómetros de circuito (Tapanes) o sensible a la fase o reflectometría óptica de dominio temporal (Kyoo, Juarez y Taylor). Sin embargo, las formas propuestas de encontrar la ubicación no funcionaron bien. En Udd, si el circuito de retorno del circuito Sagnac se ve afectado por la alteración, el acercamiento radiométrico utilizado para estimar la ubicación no funciona bien y normalmente no es posible saber si el circuito de retorno está afectado. En Tapanes, la incapacidad para seguir variaciones rápidas (slew rate) de las señales que resultan de una alteración hace que sea difícil la ubicación de la fuente.

45 **[0007]** En el caso de los métodos basados en la reflectometría de dominio temporal, como el de Kyoo, Fernades y Taylor, la ubicación de la alteración puede determinarse viendo el punto a lo largo de la señal de retorno de un impulso donde está alterada, o donde empieza la perturbación, resultando de la alteración. Sin embargo, el uso de un láser pulsado de este tipo significa que no existe un control continuo. En su lugar, cada ubicación a lo largo del cable de fibra óptica sólo se controla en los momentos en los que un impulso pasa a través de él. Además, especialmente en los sensores largos, existe un ruido considerable y sólo está disponible un ancho de banda limitado. El control continuo puede ser muy importante cuando uno está detectando un evento evanescente o un evento donde la "firma" medida cambia rápidamente con el tiempo, haciendo imposible deducir lo que causó el evento sin un registro completo. Además el ancho de banda reducido suele proporcionar una información insuficiente para caracterizar la señal recibida, con tal de evaluar su posible causa.

50 **[0008]** Algunos ejemplos de eventos evanescentes incluyen:

- la señal acústica provocada por la ruptura de un cable de refuerzo en una tubería de agua de hormigón envuelta con cables de refuerzo.
- la señal acústica provocada cuando un cable de refuerzo en el cable puente se parte.
- el aterrizaje de un objeto, como un objeto lanzado, que se ha tirado hacia un perímetro controlado por un sistema detector de intrusión de perímetro.

[0009] Los sensores de fibra óptica conocidos no identifican la ubicación de la que proviene una señal y proporcionan a la vez suficiente información para hacer una identificación fiable de lo que provoca las señales. En este sentido, son inferiores a los sistemas existentes que no son de fibra óptica. Por ejemplo, Paulson USP 5.798.457 utiliza detectores acústicos o sísmicos en un conjunto para detectar señales y analizar tanto la ubicación de la que proviene la señal como sus características para ver si es indicativa de una condición como una ruptura de cable.

[0010] Crawford (US 5355208) publica un circuito detector de fibra óptica para detectar alteraciones comprendiendo un circuito cerrado en el que dos haces contra propagación están forzados a circular en direcciones opuestas. Los dos haces de Crawford son sensores de interferometría distribuidos capaces de detectar alteraciones a lo largo de su longitud total al mismo tiempo. Crawford no describe ni reivindica un segundo sensor con las propiedades de detectar tanto las alteraciones como sus ubicaciones. En su lugar, Crawford utiliza la relación temporal entre la llegada del borde principal de una alteración en cada haz contra propagación para determinar la ubicación de una alteración, que tiene importantes limitaciones.

Breve descripción de la invención

[0011] La invención utiliza dos sensores separados.

[0012] El primero es un interferómetro de fibra óptica, que detecta todas las partes de la longitud a detectar y lo hace de manera continua. Este puede detectar efectos evanescentes. Además, detecta alteraciones que producen señales en cualquier lugar dentro de un ancho de banda amplio. La información puede extraerse para indicar la distribución de frecuencia por el tiempo que se controlan las señales, proporcionando así una buena indicación de lo que provocó las señales.

[0013] Los interferómetros de fibra óptica adecuados son, por ejemplo, interferómetros de efecto Sagnac e interferómetros Michelson.

[0014] La salida de señales desde el interferómetro de fibra óptica se examina, por ejemplo por ordenador, para ver si son representativas aparentemente de un "evento de interés". Un evento de interés es una señal o un grupo de señales con una o más características predeterminadas que es probable que hayan ocurrido como resultado de una condición para la que requiere llevar a cabo una comprobación.

[0015] Un "evento de interés" se predice por el operador del sistema, para el sistema de sensor particular. Generalmente, el operador deseará investigar cualquier señal o grupo de señales que tenga más de un pico de energía particular o más de un pico de energía en una banda o bandas de frecuencia elegidas. El pico de energía puede mostrarse en una pantalla mediante una señal analógica o digital. El pico de energía mínimo que es de interés puede determinarse haciendo eventos de prueba sobre el sistema actual o un sistema de prueba u otro sistema instalado con características similares, observando la salida de señales de dichos eventos y eligiendo un pico de energía más bajo que la salida mediante dichos eventos como un límite de energía. Cualquier señal que muestre un evento con una energía mayor al límite se define entonces como un evento de interés.

[0016] Los eventos de prueba pueden elegirse con respecto al tipo de riesgo que se está controlando. Por ejemplo, en un sistema diseñado para detectar rupturas de cable en cables de refuerzo pretensados para tuberías de hormigón envueltas en cables o cables de refuerzo pretensados para un suelo de hormigón en la construcción, algunos cables de refuerzo pueden cortarse deliberadamente para observar la respuesta. Donde el sistema está diseñado para detectar el daño sobre un puente, pueden llevarse a cabo varias operaciones de prueba, como un ataque vandálico simulado a un poste o cable, la ruptura de un cable en un cable de puente y un vehículo que golpea el puente. En cada caso, se observa la respuesta. Cuando el sistema está diseñado para detectar la intrusión, la respuesta se anota para el paso de un humano y el paso de un vehículo. A partir de las pruebas, un nivel de pico de energía se elige lo suficientemente bajo para incluir todos los eventos probables que se consideran de interés por el sistema y cualquier evento que muestre una señal con tanta energía o más se define como un evento de interés. Si se desea, los datos también pueden reunirse por las formas características del gráfico de la señal y la rapidez con la que decae la señal en eventos particulares. También pueden determinarse las densidades espectrales de las señales en diferentes longitudes de onda de diferentes tipos de eventos. Esto proporciona datos que pueden utilizarse para mostrar señales elegidas de manera inicial como eventos de interés con una vista para excluir algunos que, a partir de las características de datos extra, parecen ser explicables por haber sido causados debido a algún evento no que no es de interés en el contexto del control.

5 [0017] El segundo sensor es un sensor de ubicación. Este produce señales a partir de sustancialmente la misma longitud de sensor que el interferómetro. En una operación normal, las señales recibidas por el sensor de ubicación se mantienen durante un periodo de tiempo adecuado y se desechan después. Sin embargo, cuando la salida de señal se determina mediante el sensor de interferometría como un evento de interés, entonces las señales desde el sensor de ubicación durante el periodo en el que el evento de interés ocurrió y preferiblemente durante un periodo de tiempo antes y después del evento de interés se guardan y examinan para ver si existe una actividad anómala en cualquier ubicación en ese momento o cerca. Una vez que se conoce la ubicación, el operador (o el sistema automático) puede volver a evaluar si el evento es un evento de interés o no, basándose en la ubicación. Por ejemplo, una característica de sonido de un camión pasando podría considerarse que no es un evento de interés si proviene de una ubicación a lo largo de un sistema sensor que detecta la intrusión cerca de la carretera, pero la misma señal podría considerarse un evento de interés cuando proviene de una ubicación del sensor donde no se espera que haya camiones.

[0018] Así, las salidas de los dos sensores guardan relación entre ellas para que el usuario pueda asociar una posición de alteración según se calcula mediante el sensor de detección de ubicación con un conjunto particular de características determinadas por el sensor de interferometría.

15 [0019] El sensor de ubicación también es un sensor de fibra óptica pero uno que da la ubicación de alteraciones que detecta, como un sensor de fase OTDR o un sensor de efecto Brillouin. El sensor de ubicación puede estar en la misma fibra óptica que el interferómetro, o puede estar en una fibra óptica separada adyacente al interferómetro de fibra óptica. Preferiblemente, estará en una fibra óptica separada situada en el mismo cable que el sensor de interferómetro.

20 [0020] De acuerdo con la invención, la identificación de un evento de interés se descubre mediante el sensor de interferometría de mayor ancho de banda. Si el sensor se instala en un entorno donde se generan demasiados ruidos, entonces se necesita un reconocimiento de un evento particular que contenga características de interés. Cuando dicho evento se reconoce, entonces la posición de la fuente del evento debe distinguirse. Esto se realiza examinando la apariencia temporal y la extinción de algunas características del evento en ambos sensores. Ya que cada evento afectará a ambos sensores durante el mismo tiempo, que empiezan a la vez y acaban a la vez si los sensores están en la misma posición relativa a la estructura que están controlando, entonces una correlación temporal de la aparición y desaparición de las características que distinguen dicho evento del ruido de fondo debería permitir al evento según aparece en cada sensor separado identificarse como evento de interés.

25 [0021] Por ejemplo, en una tubería de agua pretensada según debate Paulson (USP 6.082.193), un sensor de interferometría distribuido y un OTDR de fase pueden construirse ambos en una fibra óptica instalada en la tubería. El ruido de corriente, las alteraciones de tráfico y otras características producirán efectos de ruido en ambas vías de sensor. El fallo de un cable pretensado generaría un estallido de sonido que viajaría por el agua hasta encontrar la fibra de detección, alterándola. La onda acústica también viajaría en ambas direcciones a lo largo de la tubería, atenuándose lentamente y resultando en una desaparición lenta de la alteración en ambas vías de detección.

30 [0022] Al controlar continuamente el sensor de interferometría, el evento puede reconocerse como uno de interés. Un buffer de información indicadora de la salida del sensor de ubicación (p.ej., el sensor OTDR de fase) se mantiene. Cuando un evento de interés se determina a partir del sensor de interferometría, se hace referencia a los resultados del OTDR de fase de los momentos justo antes y durante esa aparición de las anomalías de interés en el sensor de interferometría. Las salidas del OTDR de fase se utilizan entonces para determinar la ubicación a lo largo del sensor de la anomalía de interés.

40 Los dibujos

[0023] La invención se describirá con más detalle con respecto a los siguientes dibujos, en los que:

La figura 1 muestra un primer modo de realización de la invención en la que ambos sensores se sitúan en la misma fibra de la fibra óptica.

45 La figura 2 muestra un segundo modo de realización de la invención en el que el sensor de interferometría y el sensor que determina la ubicación se sitúan en fibras ópticas separadas pero adyacentes.

La figura 3 muestra la salida de un sensor de interferometría registrada a lo largo de un periodo de tiempo indicado en milisegundos, conteniendo un evento detectado.

La figura 4 muestra una transformación de Fourier de la salida del sensor de interferometría mostrada en la figura 3.

50 La figura 5 muestra la salida de señal del sensor de ubicación durante un periodo de tiempo justo antes, durante y después del evento registrado en la figura 3.

Descripción detallada de la invención

[0024] La invención se describirá ahora con más detalles con respecto a los dibujos.

[0025] La figura 1 muestra un primer modo de realización, en el que el sensor de interferometría y el sensor de ubicación se sitúan en la misma fibra óptica. El equipo relacionado con la generación del haz de sensor de interferometría y para la lectura de señales recibidas por el sensor de interferometría se indica generalmente en 1 y dicho equipo tiene referencias numéricas entre 100 y 199. El equipo relacionado con el sensor de ubicación se indica generalmente en 2 y dicho equipo tiene referencias numéricas entre 200 y 299. El equipo común para ambos y la parte de detección se indica generalmente en 3. Otras características presentes, como el entorno detectado, se indican con referencias numéricas mayores a 400.

[0026] La parte del aparato que forma el haz de sensor de interferometría se describirá primero. El sensor de interferometría ejemplificado es un interferómetro de tipo Sagnac. El interferómetro particular de tipo Sagnac utilizado en el ejemplo aquí se construyó por Pure Technologies Ltd., de 705 11th Ave. S.W., Calgary AB, Canadá. Los interferómetros del tipo Sagnac están comercializados por Blue Road Research, 219 NE 219th Avenue, Greshem, Ore, U.S.A.

[0027] De manera alternativa, un sensor de interferometría Michelson puede utilizarse. Este también está comercializado por Blue Road Research, cuya dirección se ha dado anteriormente.

[0028] En el sensor de interferometría ejemplificado, se proporciona una fuente de luz coherente (un láser) 100 y una circuitería de control adecuado 110 para éste. En un ejemplo particular, el láser se elige para darle luz coherente a una longitud de onda de aproximadamente 1310 nm. Sin embargo, esta longitud de onda puede seleccionarse de una manera conocida de acuerdo con el tipo particular de fibra a usar y las fuentes esperadas de interferencia para minimizar la probable interferencia y para maximizar la señal de cualquier alteración esperada que se busca para controlarla.

[0029] La señal de láser se envía a través de una fibra óptica 120 adecuada a un conector 130. El acoplador 130 divide la salida de láser en dos partes, que pasan por fibras ópticas 121 y 122. La fibra 122 lleva a un modulador 140, que modula la luz de láser que pasa a través de ella. La luz modulada se envía entonces a través de una bobina de retardo 150 y de vuelta mediante la línea 123 a un acoplador 160, la luz modulada que viene a lo largo de la rama 123 y la luz no modulada desde la fibra 121 salen juntas del acoplador 160 en la fibra 124. Pasan a través de un filtro de pase corto 170, que tiene la función de filtrar la longitud de ondas más tiempo que la longitud de onda del láser 100. Por ejemplo, en este ejemplo, donde el láser 100 tiene una longitud de onda de 1310 nm, el filtro filtra las longitudes de onda más tiempo que con 1310 nm., con el filtrado volviéndose más efectivo a medida que la longitud de onda se hace más larga. El filtro se utiliza para eliminar longitudes de onda extrañas de las señales láser que vuelven y se dirigen al receptor. Desde el filtro 170, la fibra 125 lleva a un acoplador combinante.

[0030] La parte del aparato que forma el sensor de ubicación se describe ahora. En el ejemplo mostrado, el aparato es un sensor de fase OTDR, según se describe en Taylor (SPIE, 2003). Cualquier otro sensor de láser que sea capaz de detectar una alteración del tipo controlado y su ubicación podría utilizarse, como un sistema basado en Brillouin disponible como un Ditest Model BOTR comercializado por Smartec SA situado en la Via Probeta 11, CH6928 Manno, Suiza.

[0031] El sensor de ubicación ejemplificado tiene un láser 200, controlado de manera adecuada mediante los controles 210. En un ejemplo, la luz coherente del láser está en una longitud de onda mayor que la luz del láser 100. En el ejemplo, la longitud de onda es 1550 nm. La luz pasa a través de la fibra óptica 220 a un impulsor 230, que está controlado mediante controles adecuados 235. Si se desea, la fibra 220 puede contener un atenuador (no numerado) conocido en la técnica. El impulsor 230 provoca que la luz coherente del láser se envíe en impulsos, a una velocidad de repetición deseada. Los impulsos están lo suficientemente espaciados para que la luz pueda viajar hasta el final del sensor y volver antes de que el siguiente impulso se envíe. De manera adecuada, un impulso puede ser del orden de 20 a 1000 nanosegundos en longitud y la velocidad de repetición (actualización) debería ser al menos 10 veces por segundo, dependiendo de la longitud del sensor. Las velocidades preferidas son mayores a esta, entre 500 y 5000 kHz. La velocidad de muestreo de la forma de onda de retorno se elegirá para obtener una resolución espacial de 0,2 km o menos (es decir, un evento visto puede ubicarse dentro de 200 metros). Preferiblemente, se elegirá obtener una resolución espacial incluso menor. Los láseres pulsados son bien conocidos en la técnica y una longitud de impulso adecuada, la tasa de repetición y la velocidad de muestreo para la longitud particular y la composición del sensor siendo usado pueden elegirse por una persona experta en la técnica.

[0032] En las tuberías de agua, la propagación de la alteración en ambas direcciones desde la fuente ofrece la oportunidad de mejorar ampliamente la precisión de la estimación de ubicación, utilizando el modelo de propagación simétrica esperado sobre los muchos rastros del OTDR de fase para medir de manera más precisa la posición del

origen de la alteración y eliminar de la consideración las partes del rastro que resultan de otros ruidos en la tubería. Así, en las tuberías de agua y aplicaciones similares, la resolución espacial que no es tan buena como a 200 metros puede tolerarse, ya que el modelo del OTDR de fase simétrica puede utilizarse para mejorar la precisión.

5 **[0033]** La luz pulsada pasa a través de una fibra 221 y preferiblemente a través de un amplificador 240 fuera de él a lo largo de la fibra 222. Si el amplificador no está presente, la fibra 222 es una mera continuación de la fibra 221.

[0034] La luz entonces pasa a un circulador 250. Este se conoce en la técnica de los componentes de fibra óptica. Dos fibras diferentes, 223 y 224 también entran en el circulador. La fibra 223 se dirige hacia el receptor 260 y la fibra 224 se dirige a un filtro de pase largo 270.

10 **[0035]** El circulador, según se conoce en la técnica, permite que la luz pase desde la fibra 222 hasta la fibra 224, o desde la fibra 224 hasta la fibra 223.

[0036] El filtro de pase largo 270 filtra la luz que tiene una longitud de onda más corta que la luz de la fuente de luz coherente 200. Así, con una fuente de luz 200 que sale a 1550 nm, el filtro de pase largo podría filtrar la luz con una longitud de onda más corta que 1550 nm., volviéndose el filtrado más pronunciado cuanto más corta se vuelve la longitud de onda.

15 **[0037]** La luz del filtro de pase largo pasa a lo largo de la línea 225 hacia el acoplador de combinación 300.

[0038] En el acoplador de combinación 300, la luz que se ha generado con el láser 100, tanto sin modular como modulada, se envía a lo largo de la misma fibra como luz desde la línea 225. Esta fibra está indicada como 310.

20 **[0039]** Todas las fibras ópticas mencionadas hasta ahora, las fibras 120, 121, 122, 123, 124, 125, 220, 221, 222, 223, 224, 225 y 310 y 336 y 227 (a describir) son preferiblemente protegidas de manera adecuada para minimizar el ruido ambiental para reducir la interferencia en los sistemas de sensor. La protección puede ser mediante separación física, o mediante el uso de materiales que bloquearán las alteraciones, según se conoce en la técnica.

[0040] La fibra 310 se une a la fibra del detector 320. La fibra 320 no está protegida, por lo que es capaz de tener alteraciones creadas en la luz de su interior debido a una alteración externa.

25 **[0041]** De manera adecuada, la fibra del detector 320 puede ser bastante larga, por ejemplo hasta 20 km. o más. Para indicar que la longitud total de la fibra del detector no se muestra, se han dibujado dos líneas paralelas 400 a través de la fibra del sensor. Éstas no indican una interrupción en la fibra, sino que simplemente la fibra se extiende por una distancia larga y una parte de ella se ha omitido. La fibra 320 termina en el terminador 330. El terminador tiene dos partes. Una es un "espejo" que refleja los 1310 de luz de vuelta. La otra minimiza los reflejos de los 1550 nm de luz. Estas son las funciones normales del terminador para un sensor de interferometría y un sensor OTDR de fase respectivamente.

30

[0042] La luz que pasa desde las fibras 225 y 125 hacia la fibra 310 y 320 continua a través de la longitud de la fibra hacia el terminador 330. Cualquiera que sea la luz reflejada de vuelta pasa a través de un acoplador 300 hacia los filtros 270 y 170. El filtro 270 excluye la luz del sensor de interferometría, ya que esa luz tiene una longitud de onda de 1310 nm y no puede pasar a través del filtro 270. El filtro 170 excluye la luz del láser pulsado ya que la luz tiene una longitud de onda de aproximadamente 1550 nm, que no puede pasar a través del filtro 170.

35

[0043] Tomando primero la luz que puede pasar a través 170, esta pasa al acoplador 130, después de lo que procede a lo largo de la fibra 126 a un receptor, analizador y demodulador 180. El receptor-analizador-demodulador también recibe la señal de modulación sobre la fibra 127, para que pueda tener acceso a la interferencia de los haces de luz contra la propagación. El receptor y el analizador utilizan el modelo de interferometría de la luz en una manera convencional para crear una salida digital o analógica indicativa de las alteraciones que se han dado a lo largo de la fibra. Una consola de operador 190 permite a un operador ver la señal y dirigir más operaciones sobre ella, como una transformación de Fourier u otro análisis.

40

[0044] De manera similar, la luz que pasa a través del filtro 270 se dirige hacia el receptor 260, que produce una salida relacionada con la amplitud de la luz y el tiempo transcurrido, desde el inicio del impulso. Esta se extrae de manera conveniente como un lote tridimensional, con un tiempo transcurrido registrado a partir de impulsos sucesivos, el tiempo de retraso para los reflejos OTDR y la amplitud.

45

[0045] En la figura 1, el sensor 320 se muestra de manera esquemática descansando sobre el fondo de una tubería de hormigón generalmente indicada como 410. La tubería de hormigón tiene una pared 420 en la que se contiene los cables pretensados 430. Solo unos pocos de esos cables se muestran en el dibujo, pero se entiende que esos cables podrían estar envueltos firmemente alrededor de la tubería para mantenerla comprimida. En el ejemplo, un cable 431 se rompe en 432. Como resultado, las ondas acústicas y sísmicas (ambas mostradas generalmente como

50

433) se expanden hacia fuera a partir de la ruptura. Las ondas pueden transmitirse a través del medio de la tubería de hormigón, o a través de la tubería de hormigón y a través del medio fluido que contiene. Estas ondas primero afectan al sensor en un punto 450. Posteriormente, las ondas también afectan al sensor en las ubicaciones que se extienden en ambas direcciones desde el punto 450, a medida que las partes posteriores de los frentes de onda acústicos y sísmicos golpean el sensor 320.

[0046] Cuando el frente de onda golpea el sensor 320 en 450, y posteriormente lo golpea en las ubicaciones que se extienden hacia fuera desde la ubicación 450 en ambas direcciones, esto provoca perturbaciones en las ondas de luz en la fibra óptica de la fibra 320, tanto en la luz de 1310 nm del sensor de interferometría como en la luz de 1550 nm del sistema de detección pulsado. Las señales generadas por estas perturbaciones viajan a lo largo de la fibra 320 y a lo largo de las fibras 125 y 225. El filtro 170 filtra los 1550 nm de longitud de onda y el filtro 270 filtra los 1310 nm de longitud de onda. Así, cada receptor 180 y 260 recibe sustancialmente sólo la luz generada por su láser asociado, haciendo así más fácil el análisis de la alteración de la luz que reacciona a una alteración en la fibra.

[0047] La figura 2 muestra una forma alternativa del sistema. Los números similares se utilizan para partes similares.

[0048] La diferencia entre las figuras 1 y 2 es que el láser detector de interferometría y el láser detector de posición no están conectados al mismo sensor. Por el contrario, existe un sensor 320a para el sensor de interferometría y un sensor 320b para el láser detector de posición. Cada uno tiene además un terminador separado, numerado con 330a y 330b respectivamente. Para el terminador 330a se utiliza un espejo. Para el terminador 330b, se utiliza un terminador no reflector conocido en la técnica. Además, los filtros 170 y 270 y el acoplador 300 no son necesarios ya que la luz de los dos láseres no se envía a través de la misma fibra. De hecho, ya no es necesario utilizar diferentes longitudes de onda de luz. Por ejemplo, en la figura 2 el modo de realización, tanto el láser 100 como el láser 200 podría utilizar luz de 1550 nm si se desea.

[0049] El sistema de la figura 2 se prefiere, porque si hay un problema con uno de los sensores, puede extraerse y reemplazarse sin alterar el otro sensor (siempre que los dos sensores no estén en el mismo cable). Además, permite elegir una longitud de onda óptima para cada sensor, sin preocuparse por tener que tener una separación suficiente entre las longitudes de onda para evitar que las señales se solapen.

[0050] En el modo de realización de la figura 2, los dos sensores 320a y 320b deben ser adyacentes el uno al otro, para que cada uno reciba una señal de un evento de interés, como una ruptura del cable o un ruido hecho por un intruso al mismo tiempo sustancialmente. Esto es necesario para que la ubicación pueda determinarse con precisión utilizando el sistema de determinación de la ubicación una vez que el evento de interés se haya determinado, utilizando el sistema de interferometría.

[0051] La distancia entre los dos sensores puede variar de acuerdo con la instalación. Sin embargo, generalmente se prefiere que las dos fibras ópticas de las fibras 320a y 320b estén adyacentes la una a la otra como por ejemplo dentro de un único cable que contiene múltiples fibras. En cualquier evento, es preferible que no haya una separación de más de 50 centímetros entre las dos fibras y preferiblemente no más de 10 centímetros.

Ejemplo

[0052] El uso del aparato para determinar los eventos de interés se describirá con respecto a una instalación de pruebas. La instalación de pruebas se estableció como la figura 2. El sensor 320a tenía una longitud de sensor de 10 kilómetros y se situó sobre una tubería de agua de hormigón en desuso. Los sensores 320b y el sensor 320a eran dos fibras individuales dentro de un único cable de fibra óptica y tenían la misma longitud.

[0053] El sensor de interferometría tenía una longitud de onda de 1310 nm. El sensor de OTDR pulsado tenía una longitud de onda de 1550 nm y se estableció para escanear la longitud de la fibra óptica cada 10 milisegundos. Cada escaneo tardó 200 microsegundos. Al menos 750 escaneos del OTDR se retuvieron en la memoria. A medida que se añadía cada nuevo escañero, el más antiguo se desechaba.

[0054] Para el propósito de la prueba, se determinó que un evento de interés sería cualquier evento que diera una señal analógica de más de 5 voltios en una salida analógica en la instalación de prueba particular. La salida analógica era una representación arbitraria de las alteraciones en el modelo de interferometría en el láser de interferometría Sagnac. Una prueba inicial mostró que cortar un cable de refuerzo en una tubería de hormigón dio una señal de 10 voltios o más. Ya que la prueba era para ver si la ruptura de cable podía detectarse, se decidió que el límite para un evento de interés se establecería aproximadamente a la mitad de ese nivel, o a 5 voltios.

[0055] La figura 3 muestra, como una salida de señal analógica de voltios relativos al tiempo, la salida del sensor de interferometría según se recuperó en el receptor 180. Las desviaciones de la línea central representan un cambio de fase en la luz de retorno. El tiempo es arbitrario, desde una base 0 que es común a ambas salidas de sensor. Se destacará que el interferómetro esencialmente proporciona una señal plana 600 (no hay cambio de fase entre la luz

enviada y la luz recibida), hasta aproximadamente 30 milisegundos en la escala arbitraria. Entonces, proporciona una respuesta larga 610. La respuesta decae rápidamente, pero siguen habiendo más perturbaciones en la señal de las que había antes del evento que ocurrió a 30 milisegundos. Aproximadamente a 126 milisegundos en la escala arbitraria, ocurre un evento adicional 620 que interrumpe la luz.

5 **[0056]** El evento que se desencadenó aproximadamente a 30 milisegundos es mayor a 5 voltios en la escala arbitraria y por lo tanto es un evento de interés. Así, la salida del láser de localización de la ubicación (salida OTDR) durante al menos 30 milisegundos (150 barridos) anterior al principio del aparente evento de interés se guardan, como los al menos 600 barridos posteriores.

[espacio entre los párrafos añadido]

10 **[0057]** Si se desea estar más seguro de que el evento es de hecho un evento de interés, el operador puede entonces decidir hacer una transformación de Fourier de la señal desde el interferómetro desde el momento justo antes, durante y después del evento. Dicha transformación de Fourier se muestra en la figura 4. Esto muestra que existe un aumento considerable en el momento del evento en la cantidad de energía de las longitudes de onda por debajo de 4 KHz. Sin embargo, esto es sólo indicativo de un impacto que ha golpeado el sensor y no es muy útil para la caracterización. Sin embargo, existe también un aumento de energía en las longitudes de onda entre 4KHz y 15 8 KHz, que es típico del modelo visto cuando se rompe el cable pretensado en una tubería de hormigón. Así, la transformación de Fourier confirma que el evento es indicativo de una ruptura de cable, que consiste en un evento de interés cuando se controla una tubería de hormigón con envuelta con cable.

20 **[0058]** Debido a que este es un evento de interés, la ubicación debe determinarse. La figura 5 es un gráfico de la salida del sensor de ubicación OTDR. El gráfico es en tres dimensiones. La escala a la derecha muestra el tiempo transcurrido en milisegundos. La escala a la izquierda muestra el tiempo de escaneo del OTDR. Cada línea a través del gráfico paralela a la escala es el rastro de un escaneo. Se recordará que en este ejemplo los escaneos se repiten cada 200 microsegundos. El eje vertical (mostrando los picos) es una escala arbitraria que muestra desviaciones del ruido de fondo ordinario. De manera conveniente, esta escala puede expresarse en voltios, pero la 25 magnitud no es de interés en la aplicación particular, excepto para determinar que el evento ha pasado el mínimo arbitrario para ser un evento de interés. En su lugar, sólo el tiempo en la escala arbitraria de milisegundos es de interés.

30 **[0059]** Ya que se ha detectado un evento de interés en la escala de interferometría a aproximadamente 30 milisegundos (escala arbitraria), se ha dibujado una línea discontinua a lo largo del gráfico en este punto (la línea se indica con 500). Una serie de picos se descubren empezando aproximadamente en la línea 500, estos picos tienen una duración de aproximadamente 10 milisegundos. Una línea 510 se dibuja para proyectar el principio de estos picos en la escala OTDR. Se descubre que la línea cruza la escala de escáner OTDR aproximadamente a 87 35 microsegundos en el escaneo.

[0060] En otras palabras, la perturbación se anota cuando el impulso ODTR ha pasado por debajo de la fibra durante 87 microsegundos. Se conoce que la fibra particular transmite luz de esta longitud de onda a 9,73 40 microsegundos/km. Así, la ubicación de la perturbación corresponde a una posición de 87/9,73 km, que son 8,94 kilómetros, desde el principio del sensor 320a y 320b.

[0061] La ubicación a 8,94 km debajo de los sensores, en la tubería de agua de hormigón, se examinó y se descubrió que correspondía a una ubicación donde una ruptura de cable inducida se había producido durante la 40 prueba.

[0062] Se destacará que existen varios eventos comparables en la OTDR, aproximadamente a 85 milisegundos y aproximadamente a 121 milisegundos. Estos han sido indicados como 520 y 530. Ya que el evento 520 no tuvo ningún pico correspondiente en el sensor de interferometría, esto podría considerarse ruido. El evento 530 tuvo un pequeño pico correspondiente 620 en aproximadamente el mismo tiempo del registro (figura 3) de la salida del 45 sensor de interferometría. Esto está por debajo del límite de lo que se ha definido como evento significativo. Por lo tanto, normalmente, no se consideraría un evento importante. Sin embargo, en este caso, porque está unido muy cerca en el tiempo a un evento de interés, puede resultar deseable examinar la señal 620 en la salida de interferometría adicional. Por ejemplo, una transformación de Fourier de esa señal podría llevarse a cabo para ver si podría notarse una firma característica de un evento de interés. De manera alternativa, puede considerarse que el evento referenciado mediante los números 530 y 620 no es de interés suficiente (debido a la salida de 50 interferometría relativamente pequeña) para una consideración adicional.

[0063] Se destacará que el evento en 520 de la salida de OTDR no tiene un evento correspondiente en la salida de interferometría. Sucede con frecuencia que existe una señal en una u otra señal de interferometría o OTDR, pero no

existe una salida correspondiente en la otra. En tales casos, la señal se entiende como un ruido y se ignora, ya que no se ha confirmado mediante una señal en el otro sensor.

[0064] Otros modos de realización adicionales de la invención serán evidentes para aquellos especialistas en la técnica y se pretende que las reivindicaciones adjuntas se interpreten incluyendo todas esas variantes.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control de fibra óptica para detectar y localizar las alteraciones a lo largo de una longitud predeterminada que comprende:

5 un primer sensor de fibra óptica (1) que comprende una fibra óptica (320; 320a) que se extiende a lo largo de dicha longitud predeterminada y que detecta continuamente alteraciones a lo largo de toda la longitud predeterminada y produce una primera salida, donde dicho primer sensor de fibra óptica (1) es un sensor de interferometría

10 un segundo sensor de fibra óptica (2) que comprende una fibra óptica (320; 320b) que se extiende a lo largo de dicha longitud predeterminada y que produce una segunda salida que detecta alteraciones y sus ubicaciones a lo largo de un medio de longitud predeterminada (190) para analizar la salida de dicho medio de sensor de fibra óptica (260) para analizar la salida del mencionado segundo sensor de fibra óptica **caracterizado porque**

15 la fibra óptica (320, 320a) del primer sensor de fibra óptica (1) y la fibra óptica (320, 320b) del segundo sensor de fibra óptica (2) son fibras ópticas separadas (320a, 320b) que se sitúan adyacentes la una a la otra o están en un fibra óptica común (320) del primer (1) y el segundo (2) sensor de fibra óptica;

20 los medios (190) para analizar la salida de dicho primer sensor de fibra óptica (1) se adaptan para identificar las alteraciones detectadas por el sensor que tienen al menos una característica predeterminada y

25 los medios (260) para analizar la salida de dicho segundo sensor de fibra óptica se adaptan para determinar si una alteración correspondiente se detectó en un momento que corresponde aproximadamente con la detección por parte de un primer sensor de fibra óptica (1) de una alteración con dicha una característica predeterminada y, en tal caso, la ubicación de dicha alteración correspondiente a lo largo de dicha longitud predeterminada.

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el primer sensor de fibra óptica (1) es un sensor de efecto Sagnac.

- 30 3. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el primer sensor de fibra óptica (1) es un sensor Michelson.

4. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 3, **caracterizado porque** el segundo sensor de fibra óptica (2) es un sensor OTDR de fase.

- 35 5. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 3, **caracterizado porque** el segundo sensor de fibra óptica (2) es un sensor de efecto Brillouin.

6. Un método para localizar las alteraciones a lo largo de un sistema de detección por fibra óptica de una longitud predeterminada que comprende:

40 detectar de manera continua las alteraciones a lo largo de dicha longitud predeterminada con un primer sensor de fibra óptica (1) comprendiendo una fibra óptica y produciendo una primera señal de salida a partir de dicho primer sensor de fibra óptica (1), cuando las alteraciones se detectan, donde dicho primer sensor de fibra óptica (1) es un sensor de interferometría

analizar dicha señal de salida para determinar si tiene al menos una característica predeterminada,

45 detectar de manera simultánea las alteraciones utilizando un segundo sensor de fibra óptica (2) comprendiendo una fibra óptica que se extiende a lo largo de dicha longitud predeterminada y que produce una segunda salida que detecta las alteraciones y sus ubicaciones a lo largo de la longitud predeterminada **caracterizado porque**

dicha fibra óptica (320, 320a) del primer sensor de fibra óptica (1) y dicha fibra óptica (320, 320b) del segundo sensor de fibra óptica (2) son fibras ópticas separadas (320a, 320b) que están situadas adyacentes la una a la otra o son una fibra óptica común (320) del primer (1) y el segundo (2) sensor de fibra óptica; y

50 cuando se descubre una alteración por dicho primer sensor de fibra óptica (1) que presenta dicha característica predeterminada, se analiza después la salida de dicho segundo sensor de fibra óptica (2) para determinar si una alteración correspondiente se detectó en un momento que corresponde aproximadamente a la detección del primer sensor de fibra óptica (1) de dicha alteración que presenta dicha

una característica predeterminada y, si es así, se determina la ubicación de dicha alteración correspondiente a lo largo de dicha longitud predeterminada.

7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** el primer sensor de fibra óptica (1) es un sensor de efecto Sagnac y el segundo sensor de fibra óptica (2) es un sensor OTDR de fase.
- 5 8. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado porque** la una característica predeterminada consiste en que la alteración produce una señal enviada a partir del sensor de fibra óptica (1), cuya señal tiene más de un pico de energía predeterminado.
- 10 9. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, **caracterizado porque** la una característica predeterminada es que la alteración produce una señal enviada desde el sensor de fibra óptica (1), cuya señal tiene una distribución espectral que ha sido predeterminada para ser de interés.

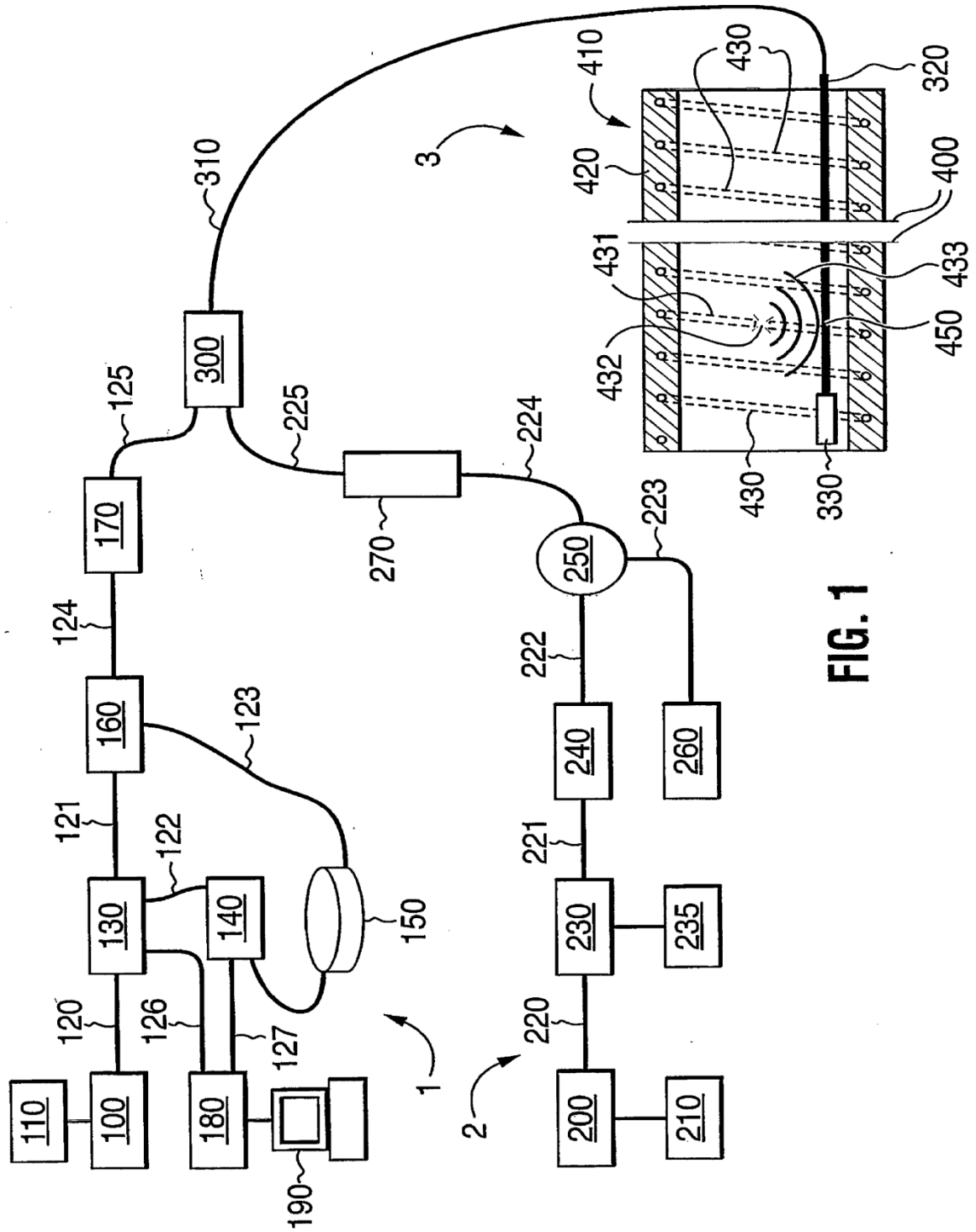


FIG. 1

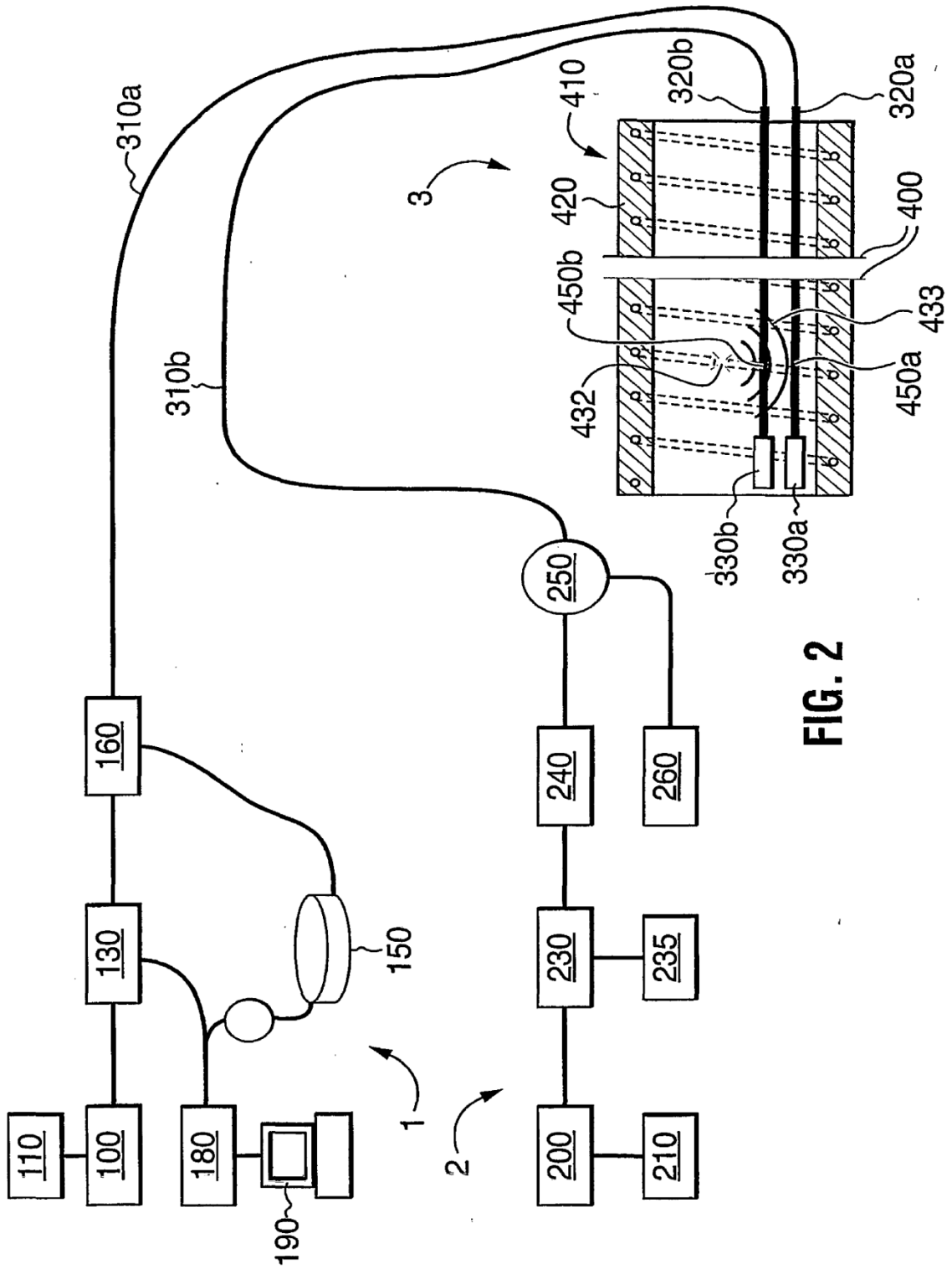


FIG. 2

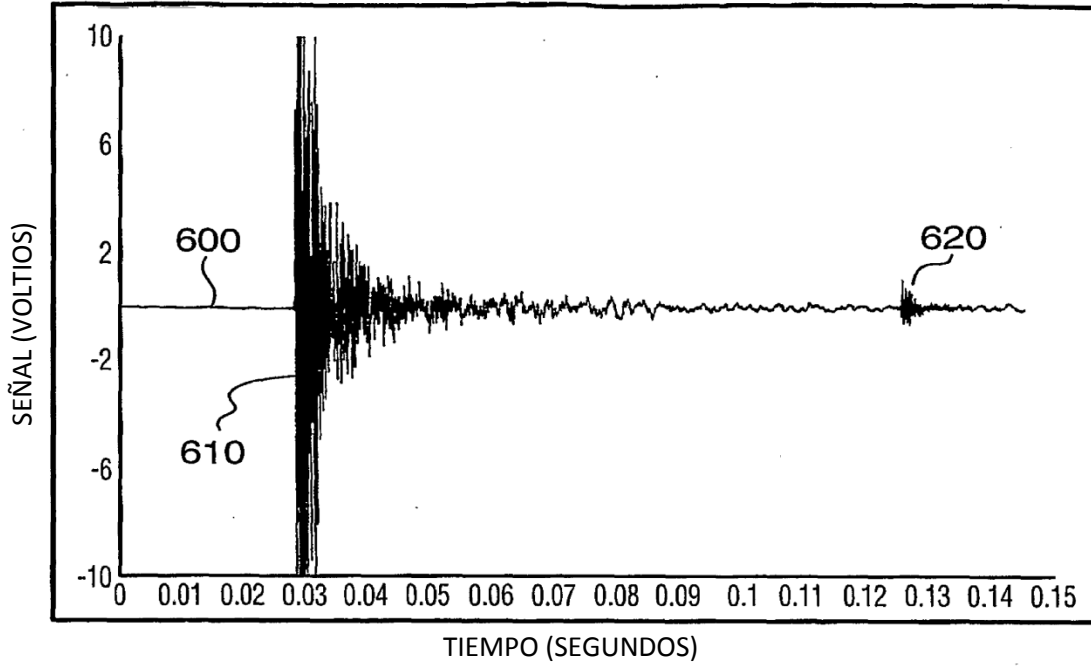


FIG. 3

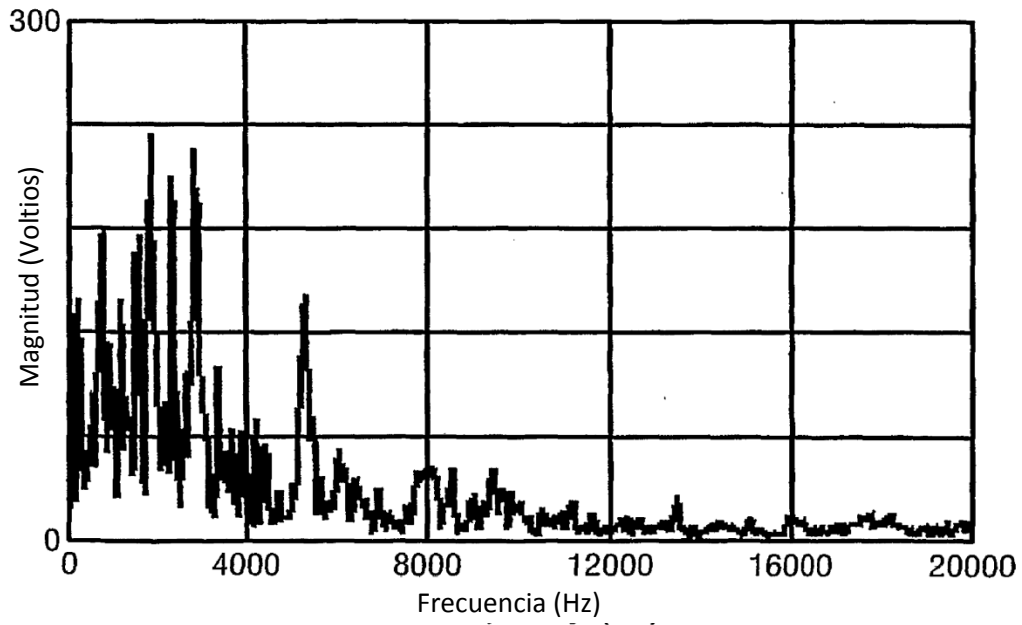


FIG. 4

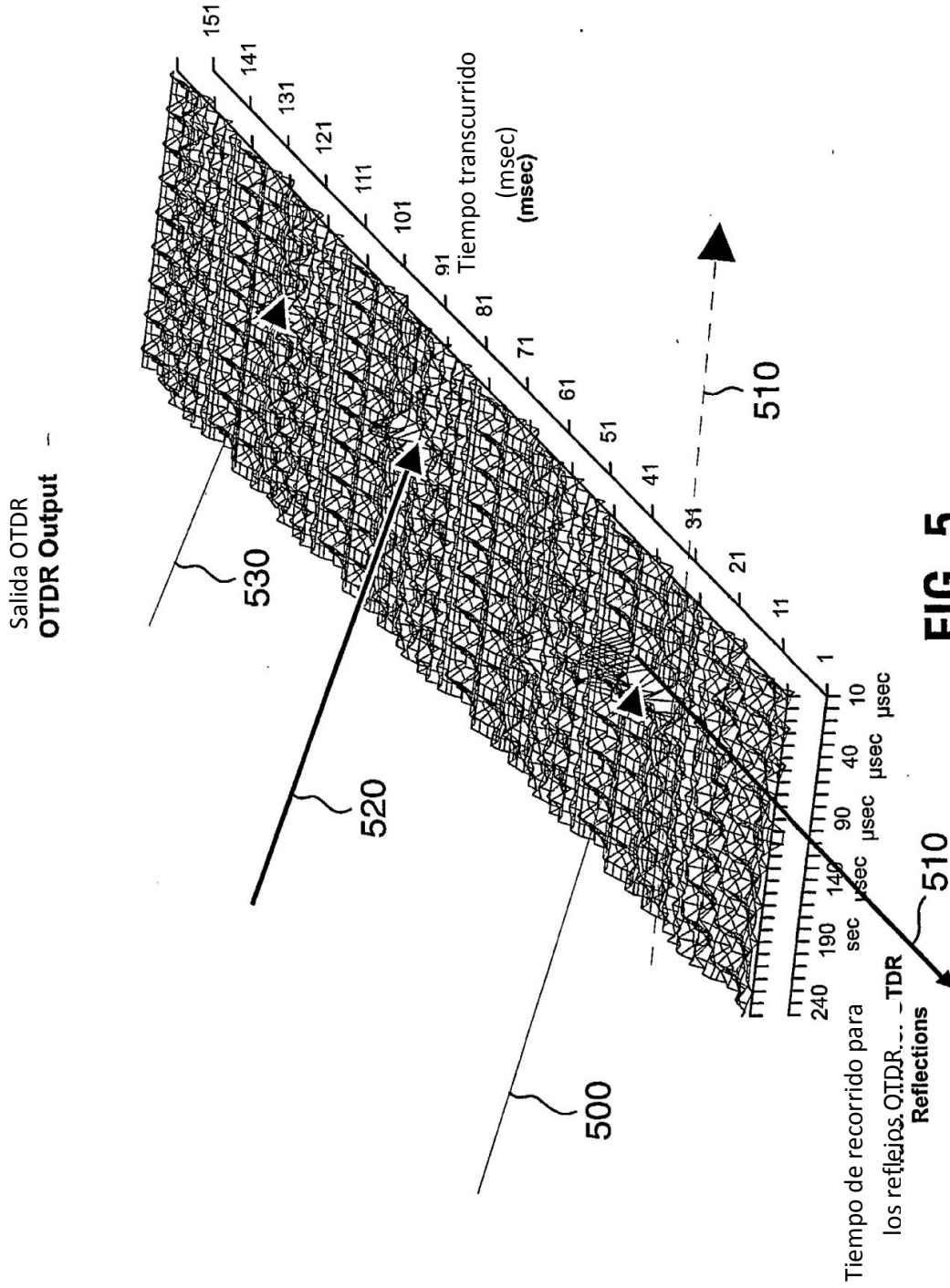


FIG. 5