

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 326**

51 Int. Cl.:  
**G01N 21/77** (2006.01)  
**G02B 6/25** (2006.01)  
**G02B 6/26** (2006.01)  
**G02B 6/30** (2006.01)  
**G02B 6/34** (2006.01)  
**G02B 6/42** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06769900 .9**  
96 Fecha de presentación: **26.04.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1882178**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.01.2008**

54 Título: **Sensor de fibra óptica distribuido, de bajo coste, reversible, mejorado con elevada resolución espacial**

30 Prioridad:  
**28.04.2005 US 676121 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**11.04.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**11.04.2012**

73 Titular/es:  
**Claudio Oliveira Egalon**  
**4117 Tivoli Avenue**  
**Los Angeles, CA 90066, US**

72 Inventor/es:  
**Egalon, Claudio Oliveira**

74 Agente/Representante:  
**de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 378 326 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 fibra óptica distribuido, de bajo coste, reversible, mejorado con elevada resolución especial.

**ANTECEDENTES - CAMPO DE LA INVENCION**

5 La presente invención se refiere, en general, a sensores espectroscópicos de fibra óptica. Específicamente, esta invención se refiere a sensores basados en absorción, fluorescencia, fosforescencia y quimiluminiscencia.

**ANTECEDENTES - ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR**

Los sensores espectroscópicos de fibra óptica se utilizan en numerosas aplicaciones industriales para la detección de temperatura y analitos químicos en forma líquida o gaseosa. Estos sensores se han creado utilizando básicamente dos técnicas distintas: el optrodo (u optodo) y el sensor distribuido.

10 El optrodo es el sensor de fibra óptica más sencillo de todos. Peterson et al. (US 4,200,110) revela un indicador en el extremo distal de la fibra que se excita mediante una fuente luminosa situada en el extremo proximal. La luz de excitación se propaga por la fibra e interactúa con el indicador produciendo una señal de luz espectroscópica (de fluorescencia, fosforescencia, quimiluminiscencia y/o absorción). La señal regresa al extremo proximal, donde es captada por un detector y correlacionada con el parámetro que se está midiendo. En este caso, la fibra, al carecer de regiones sensibles en toda su longitud para producir un cambio en la señal, solamente sirve como conducto de la luz, que se propaga sin obstáculos entre el extremo de fibra proximal y el indicador, para regresar al punto de partida. Cada punto situado a lo largo del sensor de fibra precisa una fibra separada que comunique ópticamente la fuente luminosa con el indicador, creando así un sistema complejo de varias fibras.

15 En el caso del sensor distribuido, la fibra entera (o secciones de la misma) actúa como un sensor. En una configuración, la fibra se fabrica con un solo revestimiento sensible al mensurando. En otra configuración, se desprenden varias secciones del revestimiento para exponer el núcleo de la fibra. Después, las regiones expuestas se recubren con un agente reactante que suele tener un índice de refracción similar al del revestimiento. En ambos casos, se pueden sondear estas regiones reactantes con una luz de excitación. Además de actuar como conducto de la señal, la fibra misma es sensible y da lugar a un dispositivo sensor multipuntos cuasidistribuido. Mientras que el optrodo requiere varios filamentos de fibras ópticas para hacer múltiples mediciones espaciales, el sistema de detección distribuido requiere generalmente un solo filamento de fibra. Por lo tanto, la ventaja de la detección distribuida es que puede hacer medidas espaciales múltiples con un solo dispositivo.

20 La técnica de detección distribuida comprende dos métodos principales para sondear las regiones sensibles de la fibra: por la excitación axial y por la excitación transversal, considerándose en la presente invención que la segunda es superior a la primera.

25 La excitación axial suele utilizarse para sondear el revestimiento sensible. En la excitación axial, la luz de excitación se inyecta a partir de un extremo de la fibra, a lo largo de su eje, e interactúa con el revestimiento sensible del sensor circundante a través de su cola evanescente. El revestimiento absorbe la luz de excitación en la región evanescente produciendo una señal de absorción o una señal de luminiscencia detectable en el extremo de la fibra.

30 Sin embargo, la técnica axial de excitación tiene varias desventajas. La interacción entre las colas evanescentes de la luz de excitación y el revestimiento sensible es muy pequeña y requiere una fuente de alta potencia, un costoso esquema de detección y/o una fibra óptica muy larga. Además, según la disposición que se adopte, la alineación colineal de la fuente de luz (tal como un láser) con el eje de la fibra óptica puede ser muy difícil y requerir una calibración y un manejo delicados.

35 Schwabacher, número internacional de publicación WO 01/71316 ('316), demuestra un orden lineal de quimiosensores dispuestos a lo largo de una fibra óptica, siendo cada región reactante del orden lineal sensible a una especie química. Cada región reactante sucesiva está separada por una región sustancialmente inerte, tal como el revestimiento. Esta región sustancialmente inerte debe tener una longitud mínima, preferiblemente de 250 cm. La publicación '316 documenta el método de excitación axial y el transversal, aunque considera preferible el primero.

40 En la forma de realización preferida, la publicación '316 emplea un impulso de láser axial breve para introducir una luz de excitación en la fibra óptica. Cada región reactante queda separada por una distancia mínima a lo largo de la fibra, siendo la región situada entre las regiones reactantes sustancialmente inerte. La tecnología utilizada por '316 requiere esta sección inerte relativamente larga para impedir el solapamiento de señales fluorescentes procedentes de regiones reactantes sucesivas. Una luz de excitación procedente de una fuente (por ejemplo, un láser, un láser diódico, un láser gaseoso, un láser de tinte, un láser de componentes sólidos, un LED, etc.) se introduce axialmente en una fibra óptica y su luz se transmite seguidamente a las regiones reactantes.

45 Para determinar qué región reactante (entre varias o incluso entre centenares) está produciendo la señal, el retraso entre el impulso de excitación y la señal de retorno debe conocerse y correlacionarse exactamente con la distancia a que cada región reactante determinada se halle de la fuente, midiendo el tiempo, la distancia y la longitud de onda

con instrumentos precisos como el osciloscopio y el tubo fotomultiplicador. Esta disposición requiere una fibra sumamente larga para medir centenares de especies, con lo cual se incrementan el tamaño y la complejidad del dispositivo analizador. Además, los instrumentos de precisión pueden encarecer sustancialmente el coste total del sistema.

5 Asimismo, la luz de excitación puede introducirse en las regiones reactantes de la fibra sensora mediante una o más fibras de excitación. Esto también requiere la introducción axial de la luz en la fibra de excitación. En una de las formas de realización posibles se requiere una fibra de excitación por cada región reactante, introduciendo cada fibra la luz de excitación transversalmente en la región reactante de la fibra sensora.

10 Otra forma de realización posible requiere el uso de divisores de haz para transmitir la luz de excitación transversalmente a las regiones reactantes. La técnica de la división del haz utiliza costosos láseres de gran potencia, cuyas intensidades disminuyen a medida que más divisores de haz desvían la luz de excitación hacia el recubrimiento sensible.

15 En otro esquema, la fibra de excitación se prepara desprendiendo su revestimiento de pequeñas secciones dispuestas a lo largo de la misma, disponiéndose seguidamente estas secciones junto a las regiones reactantes de una fibra sensora cercana. Una desventaja es que el campo evanescente de la fibra de excitación es muy débil y transmite muy poca energía al sensor de fibra. También se revelan otros métodos de excitación axial y transversal, aunque en general no son rentables.

20 Aunque se reconoce que estas formas de realización de '316 funcionan, quedan limitadas por su complejidad, el coste de fabricación y la robustez del diseño. Para fabricar secciones alternas de regiones reactantes e inertes, el revestimiento debe desprenderse solamente de las regiones reactantes, dejándolo intacto en las inertes. Este desprendimiento alternante aumenta el coste y la complejidad de la fabricación en serie y limita la posibilidad de automatizarla.

25 Otras técnicas utilizadas en la industria requieren el uso de instrumentación costosa, tal como un reflectómetro óptico en el dominio temporal (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR). Con costes del orden de 20.000 US\$ o más, el OTDR encarece considerablemente cualquier sistema que utilice la técnica de excitación axial. Además, la disponibilidad de longitudes de onda de los sistemas OTDR es limitada, restringiendo la selección de reactivos utilizables con el sensor. Otra desventaja de los presentes sistemas es la interferencia de la señal detectada por el OTDR, debida a que las curvas inadvertidas y las irregularidades físicas en el material de la guía de ondas varían el índice de refracción de la fibra. Además, las técnicas presentes carecen de una alta resolución espacial, del orden de aproximadamente 10 cm. Se necesita una resolución espacial más refinada.

35 Este inventor reconoce nuevamente la superioridad de la técnica de excitación transversal de la región sensible, que produce una cantidad sustancial de señal fluorescente. Sin embargo, los inventores anteriores no se percataron de que esa excitación lateral, correctamente efectuada, puede sondear secciones muy pequeñas de una fibra sensible y dar lugar a un sensor con una resolución espacial muy alta. Una alta resolución espacial, inferior a 5 mm, es deseable en aplicaciones donde hay una variación grande de la temperatura y/o de la concentración de una especie química a todo lo largo de la fibra óptica. El control de los iones de cloruro en estructuras de hormigón constituye un ejemplo en el cual la detección puede efectuarse en estrechas ubicaciones discretas a lo largo de la fibra. Los intentos anteriores tampoco proporcionaron una técnica de excitación más sencilla que permita obtener un sensor robusto y de bajo coste.

40 Lo que se necesita es una fuente luminosa de sondeo barata que también pueda proporcionar una alta resolución espacial, del orden de 5 mm o menos, y permita la localización exacta del punto de detección. También se necesita un sistema de sensor de fibra óptica eficaz que utilice dispositivos baratos, comercialmente disponibles, y que se pueda fabricar por medios automatizados. Otra necesidad es un dispositivo flexible que pueda utilizarse en todas las regiones de luz infrarroja, visible y ultravioleta del espectro electromagnético. Igualmente se necesita un dispositivo sensor robusto y fácilmente alineable que no quede afectado por interferencias externas como la flexión y la luz ambiental. Asimismo, se necesita un diseño genérico que pueda adaptarse para controlar diferentes especies químicas. También se necesita una fuente luminosa de sondeo intensa y al mismo tiempo rentable, para una fibra de base fluorescente y absorbente que pueda producir una señal fuerte y fácilmente detectable. Y, finalmente, se necesita un diseño de sistema sensor modular que pueda actualizarse fácilmente con las nuevas mejoras tecnológicas.

#### DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

55 De conformidad con la presente invención, se aporta un sistema sensor descrito en la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. Esta reivindicación describe un sensor de fibra óptica distribuida robusto, económico y de alta resolución espacial. La presente invención se puede utilizar en todas las regiones infrarrojas, visibles y ultravioletas del espectro electromagnético. La diversidad de fuentes lumínicas de sondeo de la presente invención proporciona un medio intenso y al mismo tiempo rentable para sondear la región sensible de la fibra y produce una fuerte señal, fácilmente detectable. La presente invención puede dotarse de diversos revestimientos sensibles, cada

uno de los cuales es sensible respecto a una especie química determinada. Y la presente invención puede actualizarse continuamente con nuevos medios y productos químicos, nuevas fuentes lumínicas de sondeo, nuevos sensores y nuevos códigos informáticos.

5 La presente invención consta en general de una fibra óptica sensible, diversas fuentes lumínicas de sondeo o excitación dispuestas en un orden lineal, una fuente de alimentación, un medio de detección, un medio de procesamiento de señales y un medio de visualización. El orden lineal de fuentes lumínicas de sondeo o excitación está próximo a la región sensible de la fibra óptica y en comunicación óptica directa con la misma. La fibra óptica es sensible a la temperatura y/o al menos a una especie química, quedando ópticamente afectada, en una relación monotónica, por estos mensurandos. La fibra óptica sensible recibe transversalmente una luz de sondeo procedente de las fuentes lumínicas, interactuando la luz de sondeo con la región sensible de la fibra óptica. La región sensible de la fibra, una vez sondeada, modifica la luz de sondeo y genera una señal lumínica que queda afectada por la temperatura y/o la presencia de una especie química. La señal lumínica se acopla en el núcleo de fibra óptica como señal lumínica y llega hasta un medio detector, que se halla en comunicación óptica axial con el extremo terminal de la fibra. La señal electrónica se transmite al medio de procesamiento de señales, donde se correlaciona con el mensurando (temperatura, concentración de especies químicas, etc.) que se esté midiendo. La cantidad correlacionada se transmite y se visualiza en el medio de visualización.

10 Una parte o la totalidad del área que rodea el núcleo de la fibra óptica es sensible a la especie química que se esté midiendo. Se incorpora un reactivo sensible por medio de un revestimiento permeable o bien se aplica directamente al núcleo expuesto. Es preferible que la fibra sensible resultante sea reversible y que regrese siempre a una señal de intensidad de referencia.

15 En una configuración preferida, las fuentes lumínicas de sondeo son LED ultravioleta, dispuestos junto a la fibra óptica, que iluminan su región sensible. El LED ultravioleta se escogió por varias razones. En primer lugar, es una fuente de luz de excitación económica y siempre disponible, que abarata la fabricación. Segundo, la tecnología reciente de los LED ha mejorado la intensidad y reducido el tamaño de los LED ultravioleta, haciendo posible un haz luminoso interrogante intenso y estrecho. Asimismo, la gran proximidad de los LED ultravioleta a la fibra óptica permite una mayor intensidad de la señal luminosa y el uso de un medio detector económico, por ejemplo un fotodetector de silicio. Finalmente, el pequeño tamaño del LED permite iluminar pequeñas regiones del revestimiento en múltiples posiciones dispuestas a todo lo largo de la fibra, dando lugar a múltiples puntos sensores independientes de alta resolución espacial. Esta técnica también permite ubicar exactamente el punto de detección de una sustancia, mostrando una variación de la temperatura y la concentración de una especie química a todo lo largo de la fibra.

20 Otra forma de realización puede incluir un reflector en el extremo de la fibra óptica opuesto al medio de detección, que aumente la señal lumínica mediante el redireccionamiento de los modos de retropropagación hacia el medio de detección.

25 Otra forma más de realización incluye el uso de una fibra óptica sensible con un núcleo cónico que, en general, se desvía hacia el detector cuando la señal lumínica se propaga desde la región sensible de la fibra óptica hasta el detector. Esta configuración del núcleo tiene la ventaja de acoplar más luz en el núcleo de la fibra que las otras configuraciones, con lo cual aumenta la señal del dispositivo. Con una fibra óptica cónica, rayos luminosos que de otro modo se alejarían del núcleo de la fibra se acoplan como modos fijos débilmente disipativos y se propagan a distancias muy superiores. Esta fibra puede fabricarse utilizando una torre de estiraje con una preforma de vidrio cónica. Otra posibilidad consiste en la fabricación manual de esta fibra por expertos en la conformación de vidrio.

30 Las diversas fuentes lumínicas se disponen en un orden lineal a todo lo largo de la fibra óptica sensible, emitiendo cada fuente luminosa de forma consecutiva o independiente una luz de sondeo transversal al núcleo de la fibra óptica. La longitud del orden lineal se corresponde sustancialmente con la longitud de la región sensible de la fibra óptica. Esta disposición puede utilizarse para aumentar la intensidad lumínica global de la señal lumínica acoplada.

35 En un ejemplo comparativo, se utiliza una fibra óptica de excitación para excitar transversalmente la fibra óptica sensible. En este caso, la fibra de excitación sirve como guía de luz para la luz de excitación y se despliega paralelamente a la fibra óptica sensible. La fibra de excitación se fabrica con una superficie final distal reflectante a un ángulo aproximado de 45 grados, aunque otros ángulos también pueden funcionar, que desvía la luz de sondeo hacia la fibra óptica sensible. La luz de sondeo se genera mediante una fuente luminosa en el extremo proximal de la fibra, y se introduce axialmente. La posición del extremo distal de la fibra de excitación puede cambiarse para sondear diferentes secciones de la fibra sensora; o bien, pueden utilizarse múltiples fibras de excitación, sondeando cada una de ellas un área específica de la fibra óptica sensible.

40 Otro ejemplo comparativo utiliza una fibra óptica de excitación que tiene mallas reticulares de Bragg de período largo. Esta fibra de excitación también se despliega a lo largo de la fibra óptica sensible e ilumina, o sondea, algunas de sus secciones a través de las mallas reticulares de período largo. Cada malla reticular se diseña para acoplar luz procedente de un núcleo de modo fijo de la fibra óptica sensible en modos de radiación de longitudes de onda específicas,  $\lambda_i$ , dentro del espectro de absorción del colorante sensible. En este caso, la luz procedente de una

fuente luminosa de banda ancha pasa a través de un monocromador que explora las longitudes de onda contenidas en el espectro de absorción del colorante. Cuando el monocromador se sintoniza con una longitud de onda  $\lambda_i$ , solamente la malla reticular sintonizada con esta longitud de onda acopla la luz hacia la fibra óptica sensible y la sección iluminada se corresponde con la posición de esta malla reticular de Bragg específica. Este procedimiento puede repetirse para otras longitudes de onda.

Otra forma de realización utiliza una fibra óptica de núcleo activo provista de una sustancia que amplía la señal procedente de la región sensible. Esta forma de realización funciona de una manera similar a la de un amplificador de fibra óptica. En consecuencia, la señal procedente del revestimiento sensible se acopla en el núcleo de la fibra. Seguidamente se excita el núcleo activo mediante la luz modificada por el revestimiento sensible, ampliando la señal original. A continuación, esta señal ampliada se guía hacia el detector. Esta forma de realización se prefiere siempre que se utilizan fibras de gran longitud.

La presente invención (al igual que sus formas de realización alternativas) puede utilizarse con un reactivo fluorescente o con un reactivo basado en absorción. También puede utilizarse para determinar tanto una especie química concreta como su temperatura, si se escoge un reactivo apropiado. Los reactivos sensibles a una especie química concreta pueden adquirirse en el comercio, al igual que los materiales termosensibles. Los reactivos fluorescentes, como la lucigenina, pueden utilizarse para detectar iones de cloruro. Del mismo modo, la fluorescencia de los materiales fosforescentes sensibles a los cambios de temperatura disponibles en el comercio se ve afectada por los cambios de temperatura. Por ejemplo, el oxisulfuro de lantano provisto de europio, el oxisulfuro de gadolinio provisto de europio y el oxisulfuro de itrio provisto de europio (véase Wickersheim, US 4,560,286) son sustancias fosforescentes sensibles a los cambios de temperatura que pueden utilizarse con esta invención para detectar temperatura.

La presente invención se ha diseñado para mejorar sustancialmente los sistemas detectores de fibra óptica, básicamente situando transversalmente las fuentes lumínicas (como LED de luz ultravioleta o LED de luz blanca) directamente adyacentes a la región sensible de la fibra óptica sensible. Esta disposición aumenta la intensidad de la señal de luz acoplada, reduce la complejidad y los costes de fabricación y, cuando se utilizan LED de pequeño tamaño, permite ubicar exactamente el punto de detección en una sustancia con alta resolución espacial.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La FIG. 1 es una diagrama de bloque que muestra el funcionamiento de la presente invención con un indicador fluorescente.

La FIG. 1A es un diagrama de bloque que muestra el funcionamiento de la presente invención con un indicador basado en la absorción.

La FIG. 2 es una vista transversal de la fibra sensora de la presente invención.

La FIG. 2A es una vista lateral de la fibra original.

La FIG. 3 es una vista lateral de la fibra sensora, sin revestimiento ni envoltura.

La FIG. 4 es una vista lateral de la fibra sensora de la presente invención, que muestra la región sensible.

La FIG. 5 es una vista lateral de otra forma de realización de la fibra sensible de la presente invención, que muestra una superficie reflectante en el segundo término de la fibra.

La FIG. 6 es una vista lateral de otra forma de realización de la fibra sensible de la presente invención, que muestra un núcleo cónico.

La FIG. 7 es una vista lateral de otra forma de realización y un ejemplo comparativo de la fibra sensora de la presente invención, que muestra un orden lineal de LED.

La FIG. 8 es un diagrama de circuitos que activa la presente invención.

La FIG. 9 es un diagrama que muestra un ejemplo comparativo del funcionamiento de una fibra óptica de excitación con un extremo distal de 45 grados.

La FIG. 10 es un diagrama que presenta un ejemplo comparativo del funcionamiento de una fibra óptica de excitación fabricada con varias mallas reticulares de Bragg de período largo.

La FIG. 11 es una diagrama de bloques del sistema detector de la presente invención.

La FIG. 12 es un diagrama de circuitos que activa la presente invención.

La FIG. 13 es un gráfico de datos obtenidos con la presente invención.

La FIG. 14 es una vista en planta de la presente invención, instalada in situ dentro de una estructura.

La FIG. 15 es un gráfico de datos obtenidos de la presente invención.

#### DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

5 La siguiente descripción detallada es actualmente la mejor forma de realización de la presente invención. Esta descripción no debe interpretarse en un sentido limitador y únicamente se facilita a los efectos de ilustrar los principios generales de las formas de realización de la invención. La descripción detallada que se facilita seguidamente en relación con los dibujos adjuntos pretende describir las formas de realización de la invención actualmente preferidas y no supone un intento de representar las únicas formas en que la presente invención puede construirse y/o utilizarse. Dicha descripción expone las funciones y la secuencia de pasos para construir y utilizar la invención en relación con las formas de realización ilustradas. No obstante, deberá entenderse que las mismas funciones y secuencias u otras similares pueden conseguirse por medio de diferentes formas de realización que también se consideran incluidas en el espíritu y el ámbito de la invención.

10 La Figura 1 presenta un diagrama de bloques del sensor 98. En consecuencia, una fuente de luz UV de excitación (sondeo), por ejemplo un orden lineal de diodos emisores de luz UV (LED UV) 100, ilumina transversalmente una sección del revestimiento sensible 102, fabricado con material fluorescente, y genera fluorescencia 104, mostrándose la luz iluminadora con flechas. Los LED UV 100 van acoplados a una fuente de alimentación 114 que aporta la corriente a los LED UV 100, situándose los LED UV 100 muy cerca del revestimiento sensible 102 y en comunicación óptica con el mismo.

15 Una fracción de la fluorescencia 104 se acopla al núcleo de la fibra 106 y se conduce a un detector 108, por ejemplo un fotodetector de silicio, que correlaciona la intensidad luminosa de la fluorescencia 104 con una señal eléctrica de salida. Esta señal eléctrica se transmite a un medio de procesamiento de señales 110, por ejemplo un multímetro, mediante un cable 112. En el medio de procesamiento de señales 110, se amplía la señal y se visualiza su intensidad óptica. La intensidad leída por el medio de procesamiento de señales 110 se correlaciona seguidamente con la concentración de la especie química que rodea el sensor 98.

20 También puede utilizarse una técnica similar para una fibra óptica sensible basada en la absorción, como se aprecia en la Figura 1A. En consecuencia, una fuente de luz de sondeo, por ejemplo un orden lineal de diodos emisores de luz blanca (LED blancos) 103, ilumina transversalmente una sección del revestimiento sensible 102, fabricado con un colorante basado en la absorción, mostrándose la luz iluminadora con flechas. La fuente de luz de sondeo 103 se acopla a una fuente de alimentación 114 que aporta la corriente a la fuente de luz de sondeo 103, situada muy cerca del revestimiento sensible 102 y en comunicación óptica con el mismo.

25 La luz de sondeo original se filtra mediante el revestimiento sensible basado en la absorción 102 y una fracción de la luz filtrada se acopla en el núcleo de la fibra 106 como modos con fugas débilmente disipativos 105. Seguidamente, los modos con fugas débilmente disipativos 105 se conducen a un detector 108, por ejemplo un fotodetector de silicio, que correlaciona la intensidad luminosa de la luz absorbida con una señal eléctrica de salida. Esta señal eléctrica se transmite a un medio de procesamiento de señales 110, por ejemplo un multímetro, a través de un cable 112. En el medio de procesamiento de señales 110, se amplía la señal y se visualiza su intensidad óptica. La intensidad leída por el medio de procesamiento de señales 110 se correlaciona seguidamente con la concentración de la especie química que rodea el sensor 98.

30 Por ejemplo, los colorantes reactivos disponibles en el comercio, como la lucigenina, ven atenuada su salida de fluorescencia por los iones de cloruro y pueden utilizarse como indicadores de estos iones. En consecuencia, una salida de señal alta se corresponde con una concentración baja de iones de cloruro y viceversa. De manera similar, un colorante (el colorante de Reichardt) basado en la absorción y disponible en el comercio puede usarse para determinar la humedad relativa. En consecuencia, una señal de salida alta se corresponde con niveles de humedad relativa altos.

35 Un examen más detenido de la Figura 2 permite ver la sección transversal de la fibra óptica 98 de la presente invención, con un núcleo de vidrio o plástico 106 rodeado por un revestimiento fluorescente 102, sensible a los iones de cloruro en este caso. Se impregna con un reactivo todo el revestimiento inerte 102 o se aplica directamente al núcleo expuesto 106.

40 El corazón del sensor 98 es un núcleo de fibra óptica 106 recubierto con un material polimérico impregnado de un colorante fluorescente sensible al mensurando que pretende medirse. El material polimérico y el colorante fluorescente, cuando recubren el núcleo de fibra 106, forman el revestimiento fluorescente 102.

45 Hay varias formas de fabricar este sensor 98. Uno de los métodos más sencillos requiere obtener en el comercio una fibra óptica 96 que comprende un núcleo 106, una envoltura protectora exterior 101 y revestimiento de fibra 116. Para fabricar el sensor 98, la envoltura protectora 101 y el revestimiento de fibra 116 se eliminan en posiciones específicas escogidas para detectar el analito (véase la Figura 2A), preparándose el recubrimiento sensible y aplicándose en el núcleo expuesto 106. En el comercio hay varias fibras ópticas 96 adecuadas para esta tarea. Es

preferible que dicha fibra tenga un núcleo 106 de diámetro grande (1-1,5 mm) para aportar al sensor 98 una salida de señal alta, aunque otros diámetros pueden producir resultados aceptables.

5 El procedimiento de eliminación de la envoltura, que se describe más adelante, supone el uso de fibras 96 fabricadas a partir de un núcleo de vidrio 106, un revestimiento plástico 116 y una envoltura plástica 101. Este procedimiento también supone que el reactivo utilizado es sensible a los iones de cloruro. Para reactivos y especies químicas diferentes, es posible que el procedimiento varíe un poco.

10 La fabricación del sensor 98 a partir de una fibra óptica 96 requiere eliminar el revestimiento plástico 116 y la envoltura plástica 101 que rodean el núcleo 106 en regiones específicas 92 donde se precisa sensibilidad. Esta eliminación puede efectuarse por medios químicos, por medios mecánicos (con una cuchilla) o utilizando una fuente de calor para quemar la envoltura 101 y el revestimiento plástico 116. A través del método escogido, el núcleo de vidrio 106 queda expuesto al entorno exterior y puede revestirse con el recubrimiento sensible de iones de cloruro. El resultado es la región despojada 92 de la fibra que se aprecia en la Figura 3, donde se han eliminado la envoltura original 101 y el revestimiento 116. Aunque esta ilustración muestra una sola región despojada 92, también es posible eliminar el sensor en múltiples secciones; o puede exponerse el núcleo 106 en toda su longitud.

15 Seguidamente se describe uno de los métodos posibles para preparar un solo tipo de recubrimiento sensible; no obstante, hay numerosos tipos de recubrimientos sensibles cuya preparación es probable que varíe. Utilizando una campana de humos, se vierten dos gramos de acetato de polivinilo (PVA) en un vaso de precipitados que contiene 100 ml de acetona. La solución obtenida es transparente, pero más viscosa que la acetona. Se vierten 10 mg de lucigenina en la solución de acetona y PVA, que perderá su transparencia y adquirirá un color amarillento.

20 Se aplican unas gotas de solución en la superficie de un portaobjetos de microscopio y la región despojada 92 de la fibra se pone en contacto con estas gotas. Este contacto forma un recubrimiento en la superficie de la fibra de núcleo de vidrio 106. Para asegurar un recubrimiento uniforme de la superficie del núcleo de fibra 106, la fibra 96 se hace rotar en torno a su eje durante el contacto con las gotas. Como la acetona es un disolvente que se evapora con rapidez, el recubrimiento debe aplicarse muy rápidamente a la superficie del núcleo de fibra 106 mientras las gotas conservan su humedad. Si este procedimiento lleva demasiado tiempo, el recubrimiento se endurecerá sobre la superficie del portaobjetos y no se transferirá material a la superficie del núcleo expuesto 106.

**Tabla 1.** Índices de refracción y diámetros de diversas secciones de la fibra.

	Núcleo	Revestimiento	Recubrimiento sensible
Diámetro (mm)	1,000	1,035	1,035
Índice de refracción	1,457	1,376	1,47

30 La Figura 4 presenta el sensor resultante 98 obtenido mediante este procedimiento con su núcleo de fibra 106, revestimiento plástico 116, y su nueva región sensible 102. El índice de refracción resultante de esta región es similar al índice de refracción del PVA,  $n=1,47$  (véase la Tabla 1).

35 Aunque el índice de refracción del recubrimiento sensible 102 es superior al del núcleo 106, sigue inyectándose una cantidad considerable de luz fluorescente en el núcleo de fibra 106. Este fenómeno obedece a varias razones; por ejemplo, el gran diámetro del núcleo de fibra 106 permite la propagación de modos con fugas de baja atenuación. Los modos con fugas son rayos luminosos que, pese a no reflejarse internamente por completo en el límite del núcleo con el revestimiento, siguen propagándose a distancias muy largas en el núcleo de fibra 106. Estos tipos de rayos luminosos son especialmente útiles para fibras ópticas de longitud relativamente corta, 1 m o menos. Asimismo, gran parte de la luz procedente de la región sensible 102 se acopla en el núcleo de fibra 106 como modos con fugas de baja atenuación. Algunos de los rayos con fugas que penetran en la región del núcleo 106, rodeada por el revestimiento plástico 116, se acoplan en modos fijos regulares.

40 El mismo procedimiento explicado anteriormente puede utilizarse para preparar fibras de policarbonato. Estas fibras presentan la ventaja de tener un índice de refracción del núcleo (1,582) superior al del PVA (1,47). En este caso, la fluorescencia procedente de la sección detectora de la fibra se inyecta en el núcleo de la fibra mediante acoplamiento de onda evanescente. Algunos modos con fugas también se propagan a lo largo de la fibra.

45 Otra forma de realización de este tipo de sensor requiere acceso a una torre de estirado de fibras ópticas. Una torre de estirado permite fabricar una fibra óptica a la medida con un núcleo de alto índice de refracción rodeado por un revestimiento fluorescente. La empresa Schott Glass ofrece unos cuantos tipos de vidrio en varillas, con un diámetro de 32 mm, para el estirado de fibras ópticas. La preforma escogida se introduce en el horno de la torre de estirado y se va reduciendo de diámetro hasta 1-1,5 mm. A continuación, la fibra obtenida se recubre en línea con la solución de acetona / PVA / lucigenina anteriormente descrita. El resultado final es una fibra óptica de gran longitud y completamente recubierta con un revestimiento sensible a los iones de cloruro.

Como se aprecia en la Figura 5, otra forma de realización puede comprender un reflector 122 en el término del sensor 98 opuesto al detector 108, incrementando la señal luminosa mediante el direccionamiento de los modos de retropropagación 124 hacia el detector 108 y aumentando la señal fluorescente.

5 Otra forma más de realización, presentada en la Figura 6, comprende el uso de un sensor de fibra óptica sensible 98 con un núcleo cónico 107, generalmente divergente cuando la fluorescencia 104 se propaga desde la región sensible 102 del sensor 98 al detector 108. Esta configuración del núcleo cónico 107 tiene la ventaja de acoplar más luz en el núcleo de fibra 107 que las otras configuraciones y de aumentar la señal del sensor 98. Con un núcleo de fibra óptica cónico 107, los rayos luminosos que, de otro modo, se alejarían del núcleo de fibra 107, se acoplan como modos fijos débilmente disipativos y se propagan en longitudes muy superiores. Esta fibra puede fabricarse mediante una torre de estirado con preforma de vidrio cónica. Otra posibilidad es la fabricación manual de esta fibra por expertos en la conformación de vidrio.

10 Como se aprecia en la Figura 7, se montan varias fuentes luminosas (por ejemplo, LED de luz ultravioleta) en un soporte 134 de un orden lineal a lo largo del sensor 98. En un ejemplo comparativo, cada luz 100 emite simultáneamente una luz de excitación transversalmente al núcleo de fibra óptica 106. La longitud del orden lineal 138 se corresponde sustancialmente con la de la región sensible 102 del sensor de fibra óptica 98. Esta disposición puede utilizarse para aumentar la señal total del sensor 98. Un conector de fibra óptica 132 aporta protección en el extremo de la fibra del sensor 98, impide fracturas y permite un emplazamiento reproducible del extremo del sensor de fibra 98 junto al detector 126.

15 En el caso concreto del sensor de iones de cloruro descrito, se utilizan LED de luz ultravioleta 100 disponibles en el comercio con una longitud de onda de pico de 375 nm. El indicador de iones de cloruro, por ejemplo la lucigenina, absorbe a esta longitud de onda y produce fluorescencia en la región de 505 nm. Activando y desactivando alternativamente cada LED 100, es posible sondear una región sensible concreta 102 y obtener así un sensor verdaderamente distribuido 98.

20 La fuente de alimentación 114 debe diseñarse de manera que no exceda las limitaciones de corriente de los LED 100. La Figura 8 muestra un esquema preferido del circuito para una fuente de alimentación portátil.

Es posible otra forma de realización alternativa de este esquema de excitación. Requiere la sustitución de los LED de luz ultravioleta 100 por una regleta de diodos orgánicos emisores de luz (OLED). Aunque sean de tecnología reciente, en principio los OLED podrían incorporarse a una regleta sobre la cual puede montarse el sensor de fibra óptica.

25 La Figura 9 muestra un ejemplo comparativo que utiliza una fibra óptica de excitación 144 para sondear transversalmente la fibra óptica sensible 98. En este caso, la fibra de excitación 144 sirve como guía de luz para la luz de excitación 150 y se despliega paralelamente a la fibra óptica sensible 98. La fibra de excitación 144 se fabrica con una superficie final distal reflectante 148 a un ángulo aproximado de 45 grados, aunque otros ángulos también pueden funcionar, que desvía la luz de excitación 150 hacia la fibra óptica sensible 98. La luz de excitación se genera mediante una fuente de LED de luz ultravioleta 100 en el extremo proximal de la fibra 152, y se introduce axialmente. La posición de la superficie extrema distal reflectante 148 puede cambiarse para sondear diferentes secciones de la fibra sensora 98; o bien, pueden utilizarse múltiples fibras de excitación, cada una de las cuales sondea un área concreta de la fibra óptica sensible 98.

30 Otro ejemplo comparativo, reproducido en la Figura 10, utiliza una fibra óptica de excitación 154 que tiene varias mallas reticulares de Bragg de período largo 156. Esta fibra de excitación 154 también se despliega a lo largo de la fibra óptica sensible 98 e ilumina algunas de sus secciones a través de las mallas reticulares de período largo 156. Cada malla reticular 156 se diseña para acoplar luz procedente de un núcleo de modo fijo 158 de la fibra óptica de excitación 154 en modos de radiación 162 de longitudes de onda específicas,  $\lambda_i$ , dentro del espectro de absorción del colorante fluorescente. En este caso, la luz procedente de una fuente luminosa de excitación de LED ultravioleta de banda ancha 100 pasa a través de un monocromador 160 que explora las longitudes de onda contenidas en el espectro de absorción del colorante. Cuando el monocromador 160 se sintoniza con una longitud de onda  $\lambda_i$ , solamente la malla reticular 156 sintonizada con esta longitud de onda acopla la luz hacia la fibra óptica sensible 98 y la sección iluminada se corresponde con la posición de esta malla reticular de Bragg específica 156. Este procedimiento puede repetirse para otras longitudes de onda.

35 40 45 50 55 En la Figura 11 se muestra una forma de realización del sistema de detección. Consta de un fotodetector de silicio 108, un cable de fotodetector 112, un conector macho 164 y una unidad de lectura 166. El conector macho 164 se acopla a un conector hembra 168 de la unidad de lectura 166. El fotodetector 108 va montado dentro de un receptáculo hermético a la luz (no aparece en la figura) que puede acoplarse al conector de fibra óptica. Los conductos del detector se conectan a un cable que transmite la señal fotoeléctrica a un circuito de amplificación (reproducido en la Figura 12). El circuito amplifica la señal y su intensidad aparece en la pantalla 170 de la unidad de lectura 166.

5 La invención descrita anteriormente se construyó y comprobó en diferentes concentraciones de agua salada. Los datos de este experimento se recogen en la Figura 13. La señal de la fibra óptica disminuye a medida que aumenta la concentración de sal. Obsérvese que la respuesta de la lectura es lineal respecto a la concentración de sal en el agua. Cada curva corresponde a una respuesta del detector cuando el extremo de la fibra estaba a distancias diferentes del detector. En consecuencia, la curva superior corresponde a la superficie del extremo de la fibra más próxima al detector ( $\Delta x=0$  mm), y la curva inferior corresponde a una distancia de 2 mm respecto al detector.

**Tabla 2.** Datos numéricos de la Figura 16. Se utilizaron seis soluciones de agua salada diferentes. La extremidad de la fibra se situó a seis distancias distintas,  $\Delta x$ , del detector.

Nº de la solución	Concentración de sal (g/ml)	Señal (mV)					
		$\Delta x=0$ mm	$\Delta x=0,3$ mm	$\Delta x=0,6$ mm	$\Delta x=1,0$ mm	$\Delta x=1,5$ mm	$\Delta x=2,0$ mm
0	0	49,6	48,7	46,7	44,2	40,8	37,5
1	7	47,9	46,7	45,8	42,1	39,7	36,6
2	14	47,1	46,2	44,6	41,7	38,4	35,1
3	21	46,0	45,2	43,6	40,3	37,8	34,5
4	28	44,7	44,1	42,5	40,2	36,9	34,2
5	35	43,5	42,2	41,1	38,3	35,7	32,6

10 La similitud de las pendientes de estas curvas demuestra que la sensibilidad del sensor es reproducible. Estos datos también muestran la reversibilidad de las señales, a condición de que se tengan en cuenta las diferentes distancias de la extremidad de la fibra al detector. La reproducibilidad de las señales también se observó al desconectarse y reconectarse la extremidad de la fibra y el detector. La Tabla 2 recoge la concentración de cada solución y los datos reales para el gráfico de la Figura 13. Este experimento demostró que el sensor tiene una respuesta lineal, es robusto y emite una señal estable, reversible y reproducible.

15 Entre las numerosas aplicaciones posibles en las diversas formas de la presente invención figura la vigilancia de la intrusión de iones de cloruro en estructuras de hormigón (la causa de la corrosión de las barras de refuerzo y del subsiguiente fallo estructural), la vigilancia de iones de cloruro en estructuras aeronáuticas (la causa de la corrosión crateriforme), la medición del contenido de cloruro y otros iones en la tierra de las plantas, y la medición de la concentración de iones de cloruro en las desalinizadoras. Correctamente modificada, también puede utilizarse para detectar otros tipos de iones, moléculas y temperaturas, a condición de que puedan escogerse un indicador y una matriz polimérica de características adecuadas.

20 Debido al diseño modular del sensor, es posible incrustar el subsistema del sensor en una estructura de hormigón mientras se expone la extremidad de la fibra y su toma de potencia de entrada al entorno exterior (véase la Figura 4). En consecuencia, se efectuó una prueba del sensor para determinar su respuesta durante su incrustación en un cilindro de hormigón. La muestra de hormigón se sometió seguidamente al contacto con agua salada y la señal del sensor se vigiló durante varios días. La respuesta del sensor durante las 90 horas últimas de este experimento se muestra en la Figura 15. La siguiente es una cronología de las incidencias del experimento, donde T=0 h corresponde al día 20:

30 El sensor de fibra se incorporó a la muestra de hormigón dos semanas antes del día 1.

El día 1, siendo T=-460 h, la parte superior del cilindro de hormigón se sumergió en 100 ml de agua salada en el punto de saturación.

El día 19 se substituyó el agua salada por agua pura (T=-28 h).

35 El valor T=0 h de la Figura 15 corresponde al día 20 (T=0 h). El hecho de que el nivel de la señal de la fibra sea inferior a 30 mV indica una alta concentración de cloruro debida al contacto anterior con agua salada.

En el punto T=+20 h, la señal del detector empieza a aumentar debido a la disminución de la concentración de iones de cloruro por efecto de la penetración de agua pura iniciada el día 19 (48 h antes).

En el punto T=+40 h, la señal del sensor alcanza su máximo nivel, alrededor de 60 mV.

El día 22, el agua pura vuelve a sustituirse por agua salada (T=+48,9 h).

Entre T=+50 h y T=+60 h, la señal procedente del sensor empieza a disminuir debido a la creciente concentración de iones de cloruro alrededor del punto de vigilancia.

5 En T=+80, la señal alcanza su nivel más bajo y se estabiliza.

El experimento concluyó alrededor del momento T=+90 h.

10 Aunque la presente invención se ha descrito en relación con determinadas formas de realización, se reconoce la posibilidad de idear nuevas variaciones de la misma sin alejarse del concepto original. Un experto reconocerá la posibilidad de numerosas mejoras, modificaciones y adiciones sin alejarse del espíritu y el alcance de la presente invención, descrita y definida en este documento y en las reivindicaciones siguientes.

Números de Referencia

92	Región despojada de la fibra	124	Modos de retropropagación
98	Fibra óptica con revestimiento sensible	128	Interfaz entre núcleo cónico y revestimiento
100	LED UV	132	Conector de fibra óptica
101	Envoltura de la fibra	134	Soporte de fibra óptica
102	Revestimiento fluorescente	138	Orden lineal de LED
103	LED blanco	144	Fibra de excitación con término de 45 grados
104	Señal de luz fluorescente	148	Extremo distal reflectante con ángulo de 45 grados
105	Señal de luz basada en absorción	150	Luz de excitación
106	Núcleo de la fibra	152	Extremo proximal de la fibra
107	Núcleo cónico	154	Fibra óptica con mallas reticulares de Bragg de período largo
108	Fotodetector de silicio.	156	Malla reticulares de período largo
110	Unidad de lectura	158	Núcleo de modo fijo de la fibra de excitación
112	Cable de fotodetector	160	Monocromador
114	Sistema de fuente de alimentación	162	Modos de radiación
116	Revestimiento original	164	Conector macho del fotodetector
118	Segundo término de la fibra óptica	166	Unidad de lectura
120	Primero término de la fibra óptica	168	Conector hembra de la unidad de lectura
122	Superficie reflectante	170	Pantalla de la unidad de lectura

**REIVINDICACIONES**

1. Un sensor distribuido de fibra óptica de alta resolución espacial y alta intensidad, que comprende:
  - 5 una fibra óptica sensible (98), teniendo dicha fibra óptica sensible un núcleo (106), teniendo dicha fibra óptica sensible un revestimiento (116), teniendo dicho revestimiento al menos una región sensible (102) y siendo dicha región sensible sensible al menos a un mensurando;
  - 10 una diversidad de fuentes luminosas de sondeo (100, 103) dispuestas en un orden lineal a lo largo de al menos dicha región sensible, produciendo cada una de dichas fuentes luminosas de sondeo una luz de sondeo, y estando cada una de dichas fuentes luminosas de sondeo adyacentes a dicha fibra óptica sensible en al menos dicha región sensible, donde cada una de dichas fuentes luminosas de sondeo emite independientemente dicha luz de sondeo transversalmente a al menos dicha región sensible, una por una, iluminando independientemente cada una de dichas fuentes luminosas de sondeo una porción discreta de al menos dicha región sensible;
  - 15 un medio detector (108), estando dicho medio detector en comunicación óptica axial con un primer término de dicha fibra óptica sensible;
  - un medio de procesamiento de señales (110), estando dicho medio de procesamiento de señales en comunicación de datos con dicho medio detector;
  - un medio de visualización, estando dicho medio de visualización en comunicación de datos con dicho medio de procesamiento de señales;
  - 20 una fuente de alimentación (114), alimentando dicha fuente de alimentación a cada una de dichas fuentes luminosas de sondeo, dicho medio detector, dicho medio de procesamiento de señales y dicho medio de visualización;
  - donde dicha fibra óptica sensible queda ópticamente afectada, en una relación monótonica, por la presencia de dicho al menos un mensurando en un entorno que rodea la fibra óptica sensible;
  - 25 donde, durante su uso, dicha luz de sondeo interactúa individualmente con dicha al menos una región sensible de dicho revestimiento de fibra óptica sensible de tal manera que de ella se genera una luz de sondeo modificada, debiéndose sustancialmente cada una de dichas modificaciones a la presencia de dicho mensurando y acoplándose sustancialmente dicha luz de sondeo modificada a dicho núcleo como señal de luz asociada a dicha al menos una región sensible;
  - 30 donde dicho medio detector está adaptado para recibir dicha señal de luz asociada al salir de dicho primer término de dicha fibra óptica sensible;
  - donde dicho medio detector está adaptado para medir la intensidad de dicha señal de luz en una banda determinada de longitudes de onda, para correlacionar dicha intensidad de dicha señal de luz con una señal eléctrica y para transmitir dicha señal eléctrica a dicho medio de procesamiento de señales;
  - 35 donde dicho medio de procesamiento de señales está adaptado para correlacionar dicha señal eléctrica a una cantidad del mensurando que se esté midiendo, disponiéndose que dicha cantidad se transmita a dicho medio de visualización y se visualice en el mismo.
- 40 2. El sensor de la reivindicación 1, donde dicho núcleo (107) tiene una geometría cónica, desviándose generalmente hacia dicho medio detector cuando dicha señal de luz se propaga entre dicha al menos una región sensible de dicha fibra óptica sensible y dicho detector; y donde dicha geometría cónica disminuye la pérdida de intensidad de dicha señal de luz.
3. El sensor de la reivindicación 1, donde dicho núcleo se impregna con una sustancia fluorescente y forma un núcleo fluorescente, aumentando dicho núcleo fluorescente la intensidad de dicha señal de luz transmitida a dicho medio detector.
- 45 4. El sensor de la reivindicación 1, donde el índice de refracción de dicho núcleo es menor o igual que el índice de refracción de dicha al menos una región sensible para posibilitar un acoplamiento de dicha al menos una región sensible a dicho núcleo.
5. El sensor de la reivindicación 1, donde dicha al menos una región sensible (102) se fabrica con un reactivo seleccionado del grupo consistente en un reactivo colorimétrico, un reactivo basado en absorción y un reactivo fluorescente.

6. El sensor de la reivindicación 1, donde dicho mensurando se selecciona del grupo consistente en la concentración de una especie química que rodea dicha al menos una región sensible de la fibra óptica, o la temperatura del entorno que rodea dicha al menos una región sensible de la fibra óptica.
- 5 7. El sensor de la reivindicación 1, donde dichas fuentes de luz de sondeo (100, 103) se seleccionan del grupo consistente en un diodo emisor de luz ultravioleta, un diodo emisor de luz visible de banda ancha, y un diodo emisor de luz orgánica.
8. El sensor de la reivindicación 1, donde dichas fuentes de luz de sondeo (100, 103) tienen un tamaño máximo de 5 mm y dichas fuentes de luz de sondeo pueden producir una resolución espacial mínima de 5 mm.
- 10 9. El sensor de la reivindicación 1, donde dichas fuentes de luz de sondeo (100, 103) tienen un tamaño mínimo de 5 mm y dichas fuentes de luz de sondeo pueden producir una resolución espacial máxima de 5 mm.
10. El sensor de la reivindicación 1, donde dicha diversidad de fuentes de luz de sondeo emite dicha luz de sondeo consecutivamente, en ángulo, hacia dicha al menos una región sensible.
- 15 11. El sensor de la reivindicación 1, donde dicha diversidad de fuentes de luz de sondeo emite dicha luz de sondeo en grupos adyacentes, iluminándose las fuentes de luz simultáneamente dentro de un grupo, en ángulo hacia dicha al menos una región sensible, grupo a grupo, para emitir de este modo una señal de luz más intensa.
12. El sensor de la reivindicación 1, donde cada una de dicha diversidad de fuentes de luz de sondeo está configurada para emitir independientemente dicha luz de sondeo en ángulo hacia dicha al menos una región sensible, una por una, iluminando independientemente cada una de dicha diversidad de fuentes de luz de sondeo una porción discreta de dicha al menos una región sensible.
- 20 13. El sensor de la reivindicación 1, donde dicho medio detector (108) es un fotodetector de silicio situado en el primer extremo terminal de la fibra óptica sensible.
14. El sensor de la reivindicación 1, donde un reflector (122) se sitúa en un segundo término de dicha fibra óptica sensible, aumentando dicho reflector dicha señal de luz mediante el desvío de modos de retropropagación hacia dicho medio detector.
- 25 15. El sensor de la reivindicación 1, donde dicha fibra óptica sensible y dichas fuentes de luz de sondeo se instalan in situ dentro de un cuerpo y donde al menos se está detectando un mensurando dentro del cuerpo en al menos un punto sondeado.
16. El sensor de la reivindicación 1,
- 30 donde dicha diversidad de fuentes de luz de sondeo comprende al menos una fuente de luz blanca de banda ancha (103),
- 35 donde, durante su uso, dicha luz de banda ancha se dispone para interactuar con dicha al menos una región sensible de dicho revestimiento de fibra óptica sensible, de manera que una porción de dicha luz de banda ancha sea absorbida por dicha al menos una región sensible para formar una luz de banda ancha parcialmente absorbida, quedando dicha absorción sustancialmente afectada por la presencia de dicho mensurando, y acoplándose sustancialmente en dicho núcleo dicha luz de banda ancha parcialmente absorbida como señal de luz (105) en forma de una diversidad de modos fijos y rayos con fugas.
17. El sensor de la reivindicación 1,
- 40 donde dicha diversidad de fuentes de luz de sondeo comprende al menos una fuente de luz de excitación de LED ultravioleta (100), produciendo dicha fuente de luz de excitación una luz de sondeo durante su uso, y quedando dicha fuente de luz de excitación adyacente a dicha fibra óptica sensible en dicha al menos una región sensible de dicho revestimiento;
- 45 donde dicho medio detector (108) comprende un fotodetector de silicio;
- 45 donde, durante su uso, dicha luz de sondeo interactúa con dicha al menos una región sensible de dicha fibra óptica sensible, de manera que una porción de dicha luz de sondeo queda absorbida por dicha al menos una región sensible, emitiendo dicha al menos una región sensible una luz fluorescente tras su excitación por la luz de sondeo, quedando dicha luz fluorescente sustancialmente afectada por la presencia de dicho mensurando, acoplándose dicha luz fluorescente sustancialmente a dicho núcleo como señal de luz (104) y transmitiéndose dicha señal de luz a dicho primer término de dicha fibra sensible;
- 50 donde dicho fotodetector de silicio se dispone para recibir dicha señal de luz a su salida de dicho primer término de dicha fibra óptica sensible, correlacionando monotónicamente dicho detector de silicio la

intensidad de dicha señal de luz sobre una determinada banda de longitudes de onda con una señal eléctrica, y transmitiéndose dicha señal eléctrica a dicho medio de procesamiento de señales; y

donde dicha señal eléctrica se correlaciona con un mensurando de dicho medio de procesamiento de señales, transmitiéndose dicho mensurando de señal y visualizándose en dicho medio de visualización.

- 5 18. El sensor de la reivindicación 1, en el cual dicha fibra se recubre con diferentes reactivos sensibles, para que cada uno de dichos recubrimientos sensibles sea sensible a una especie química determinada, al tener cada uno de dichos recubrimientos una longitud específica que define la resolución espacial de la fibra sensora.
19. El sensor de la reivindicación 1, que también comprende una diversidad de LED para controlar la intensidad de la señal y la sensibilidad de la al menos una región sensible.
- 10 20. El sensor de la reivindicación 19, donde se introduce una corriente variable en dichos LED para controlar la intensidad de la señal y la sensibilidad de la al menos una región sensible.
21. El sensor de la reivindicación 20, que también comprende una lectura para leer la intensidad de la luz integrada de la al menos una región sensible a fin de efectuar mediciones.
- 15 22. El sensor de la reivindicación 1, donde dichas fuentes de luz de sondeo son reposicionables para iluminar diferentes regiones discretas en toda la longitud de la fibra.

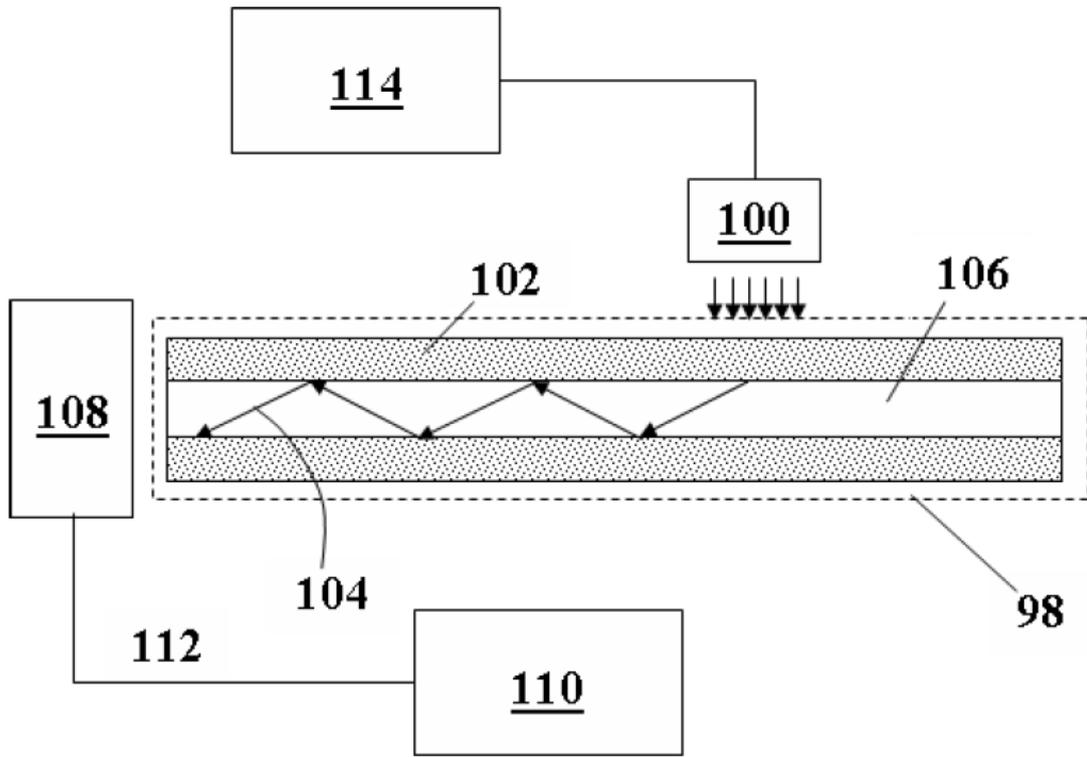


FIG. 1

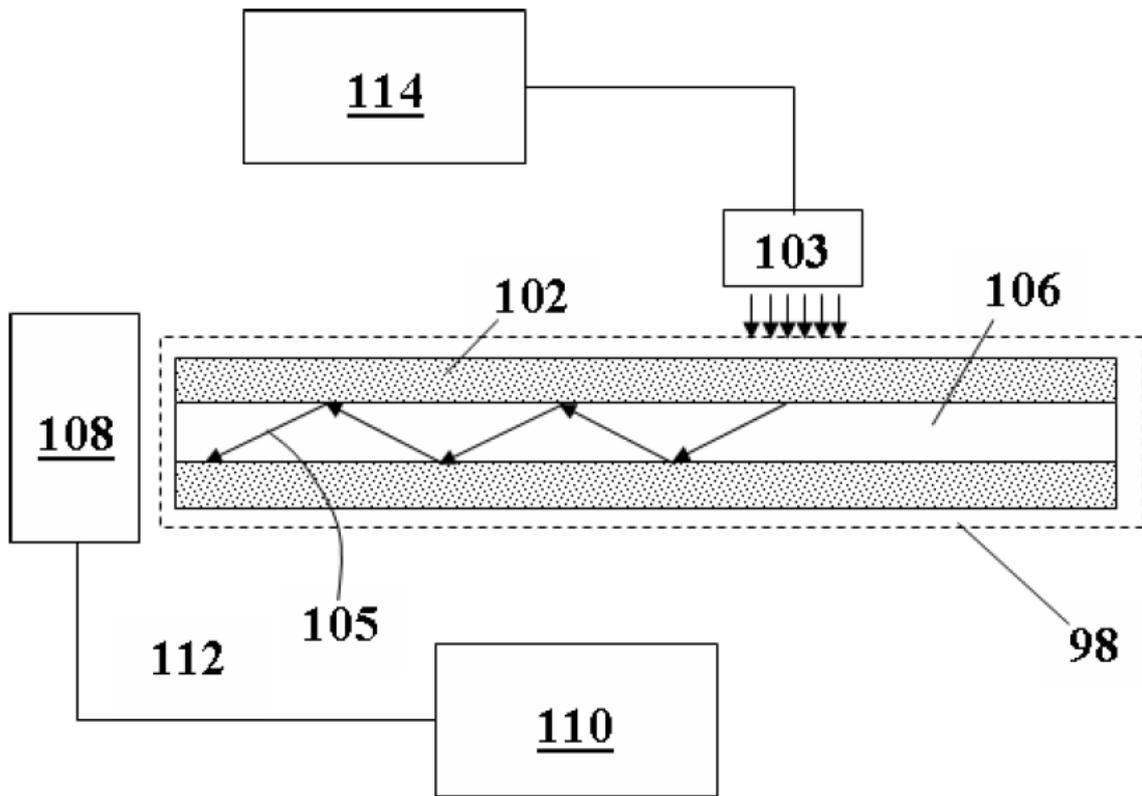


FIG. 1A

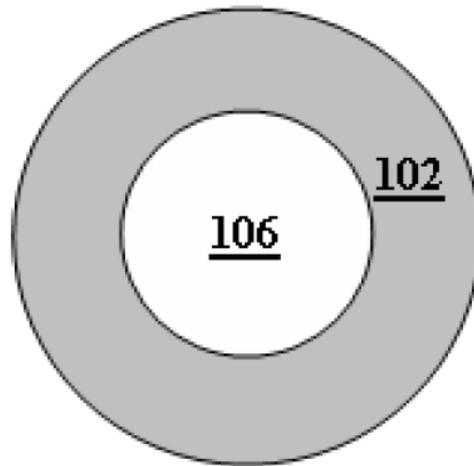


FIG. 2

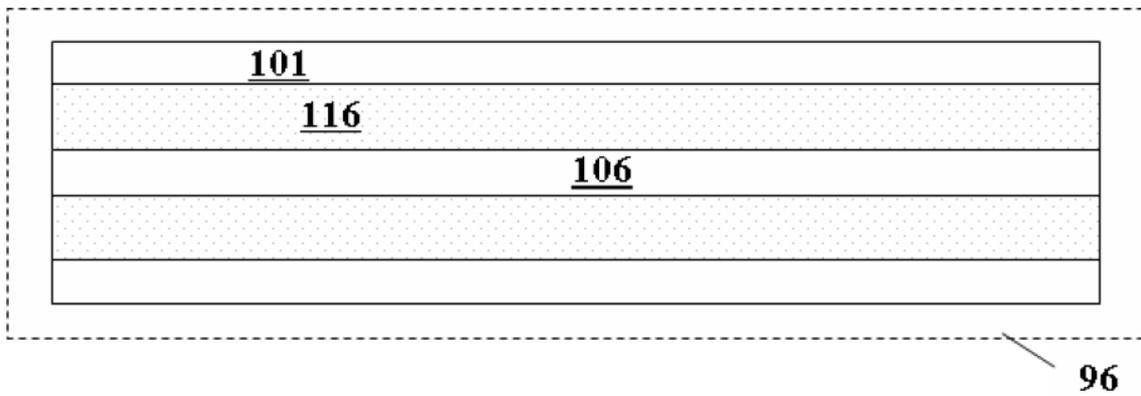


FIG. 2A

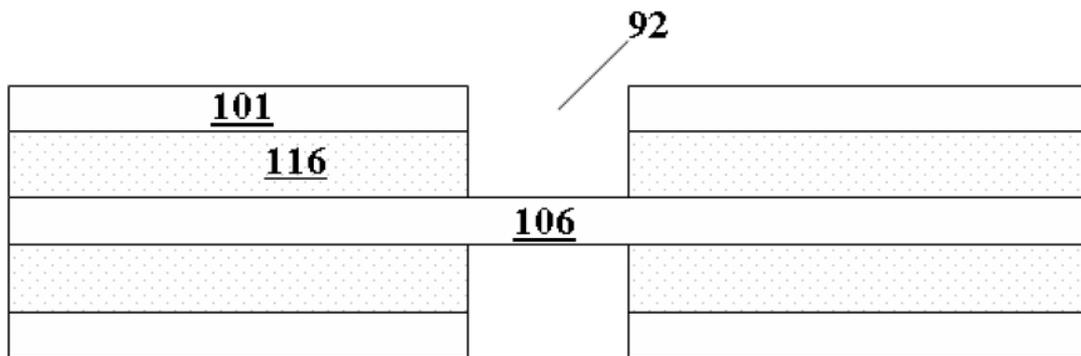


FIG. 3

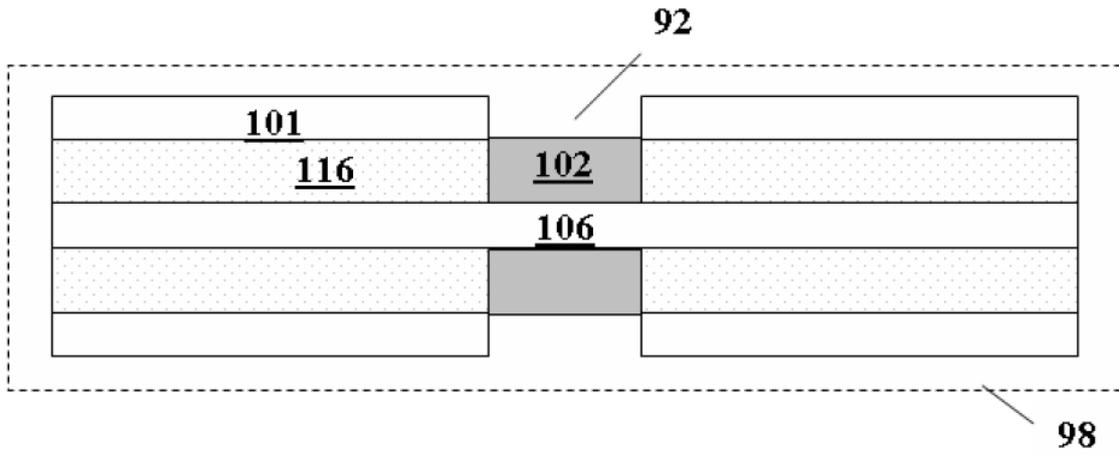


FIG. 4.

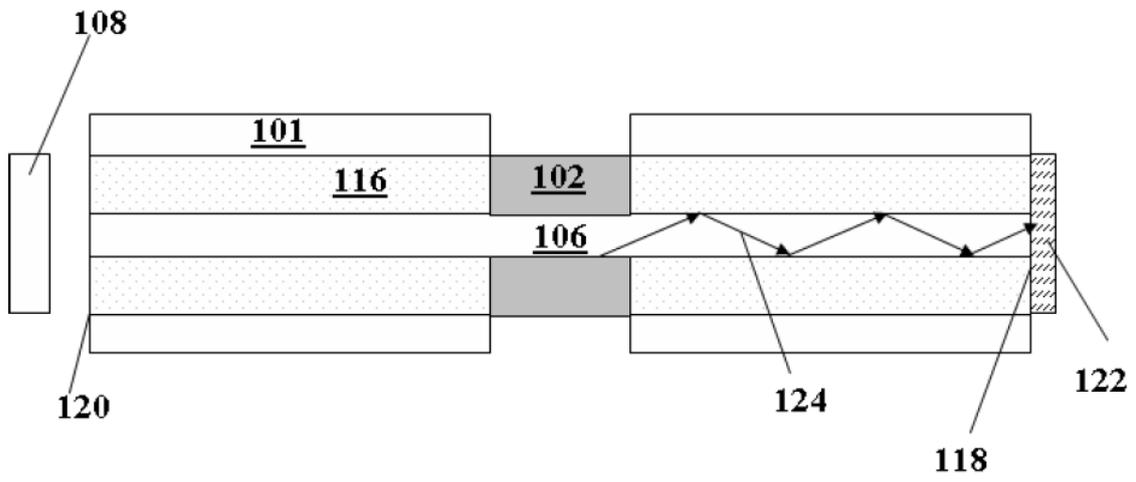


FIG. 5.

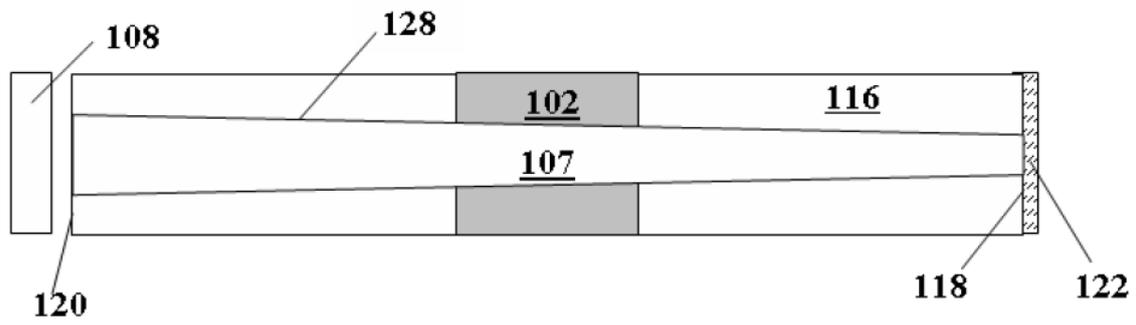


FIG. 6.

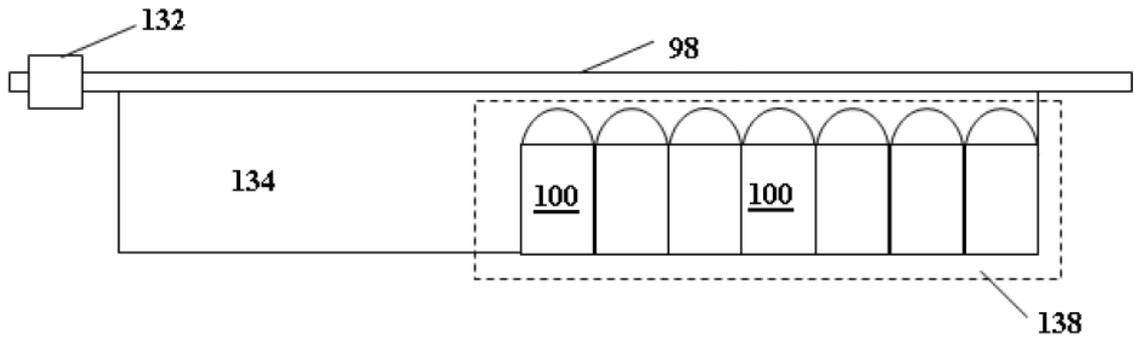


FIG. 7.

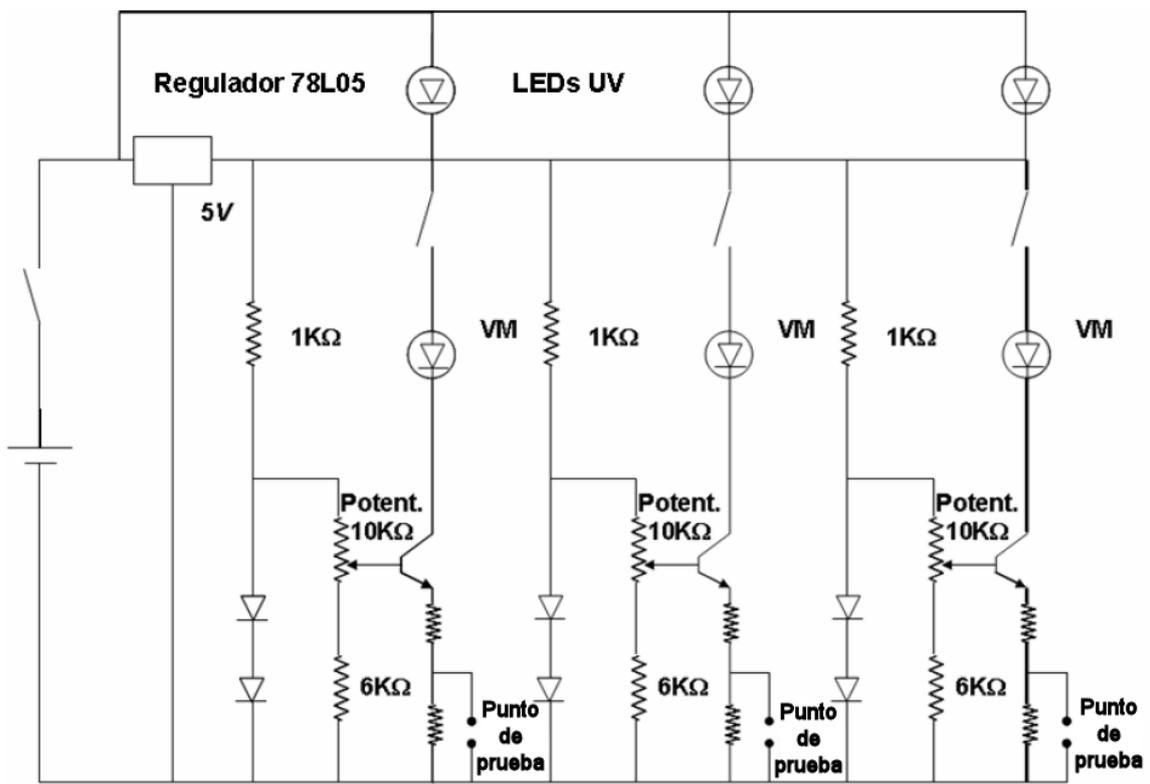


FIG. 8.

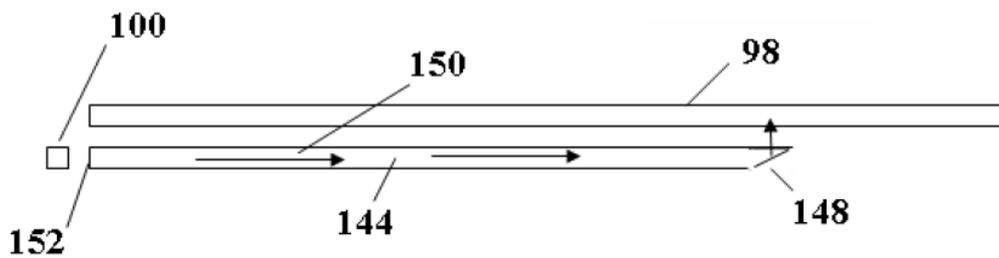


FIG. 9.

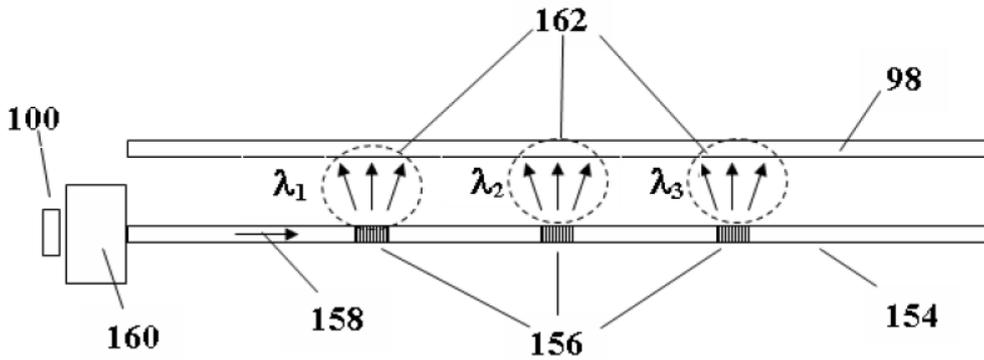


FIG. 10.

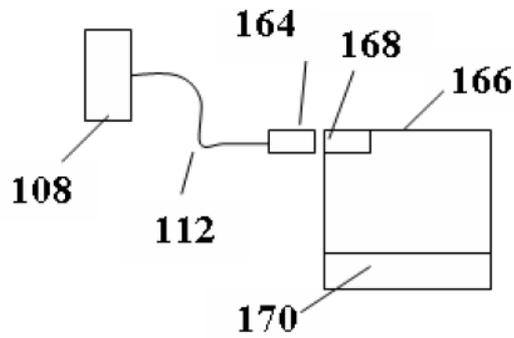


FIG. 11.

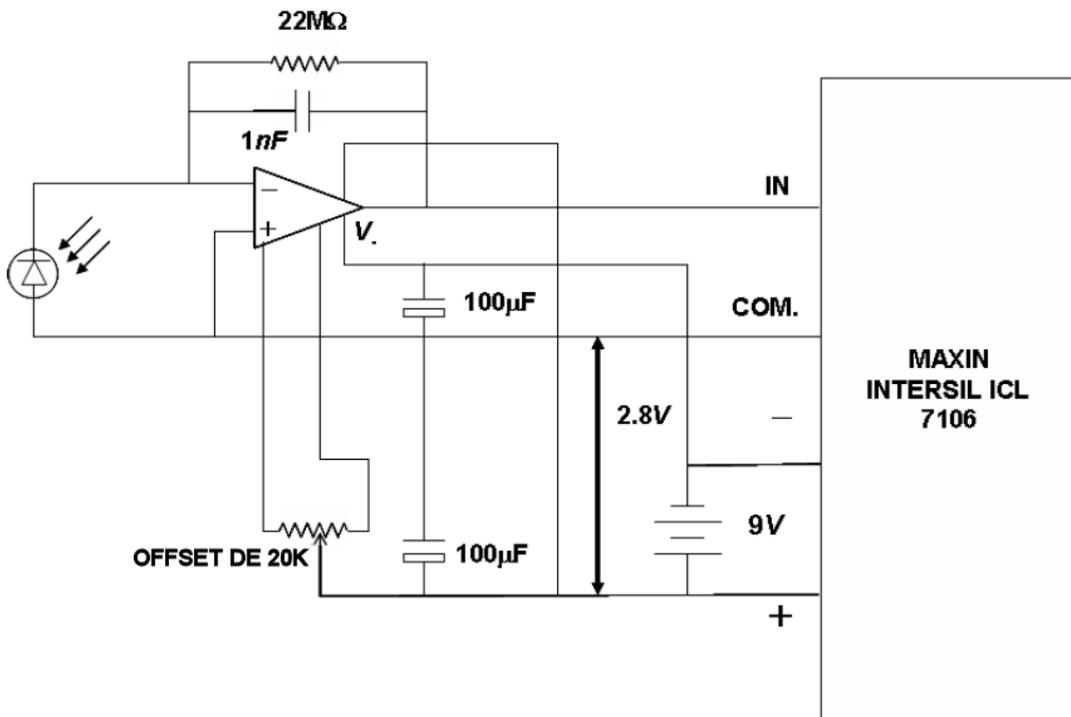


FIG. 12.

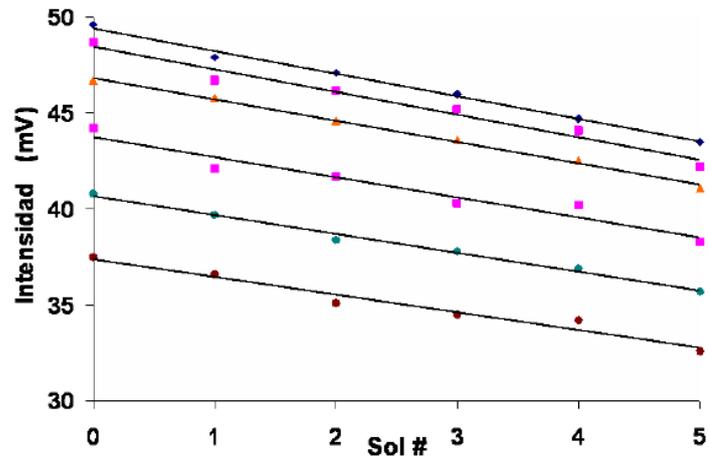


FIG. 13

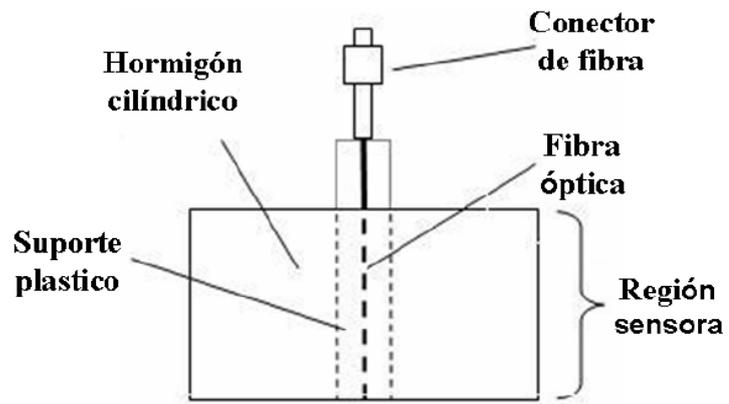


FIG. 14

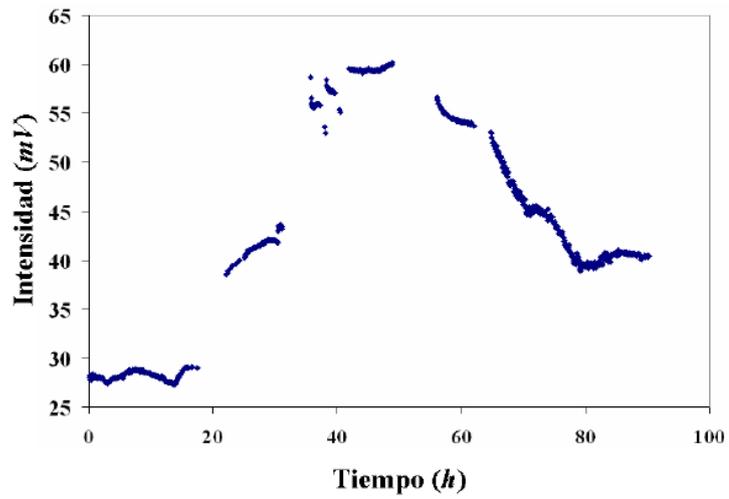


FIG. 15