

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 388 629**

21 Número de solicitud: 200930201

51 Int. Cl.:

G01D 5/353 (2006.01)

G02F 1/39 (2006.01)

H04B 10/2507 (2013.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

22.05.2009

43 Fecha de publicación de la solicitud:

17.10.2012

Fecha de la concesión:

14.08.2013

45 Fecha de publicación de la concesión:

27.08.2013

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (50.0%)**

C/ SERRANO, 117

28006 MADRID (Madrid) ES;

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES (20.0%) y

ENTIDAD PÚBLICA EMPRESARIAL

ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS

FERROVIARIAS (30.0%)

72 Inventor/es:

MARTÍN LÓPEZ, Sonia;

ANIA CASTAÑÓN, Juan Diego;

CORREDERA GUILLÉN, Pedro y

GONZÁLEZ HERRÁEZ, Miguel

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **SISTEMA PARA LA MEJORA DEL RANGO DINÁMICO Y LA REDUCCIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN SENSORES DISTRIBUIDOS SOBRE FIBRA ÓPTICA.**

57 Resumen:

Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica.

Basado en amplificación distribuida mediante efecto Raman, consistente en uno o más láseres (5) de bombeo a diversas longitudes de onda, combinados con un número variable de reflectores (6) en fibra óptica. Con estos elementos se consigue inducir en la fibra óptica sensora (4) las condiciones necesarias para la propagación de las señales del sensor en régimen de transparencia virtual, mejorando la relación señal-ruido en la señal del sensor, mejorando el rango dinámico y aumentando la longitud de alcance del sensor en hasta 250 km.

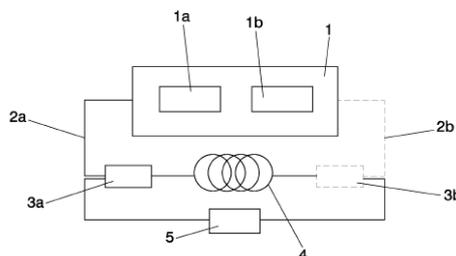


FIG. 1

ES 2 388 629 B1

DESCRIPCIÓN

Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica.

OBJETO DE LA INVENCION

5 La presente invención pertenece al sector de las tecnologías físicas aplicándose a sistemas de medición basados en sensores distribuidos sobre fibra óptica.

El objeto principal de la presente invención es un sistema para la mejora del rango dinámico (aumento del alcance de medida) y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, basado en amplificación distribuida mediante efecto Raman en fibra y usando distintos láseres de bombeo y reflectores.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los sensores distribuidos constituyen una técnica atractiva y muy prometedora para sensado en largas longitudes de parámetros físicos como la deformación y la temperatura. En los últimos años, los sensores basados en tecnología de fibra óptica y efectos lineales como el *scattering* Rayleigh, y no lineales como el *scattering* Raman y el *scattering* Brillouin han experimentado una creciente aplicación en instrumentación de todo tipo de infraestructuras civiles (puentes, túneles, edificios, presas...), de transporte (aviones, líneas ferroviarias,...), industriales (conducciones de gas, de agua, plataformas petrolíferas,...).

El *scattering* Rayleigh tiene lugar en cualquier material por la interacción de los fotones con los átomos que componen el material. Como resultado de esta interacción, en el caso particular de la fibra óptica, parte de la señal óptica retorna por ella hacia la fuente emisora.

20 El efecto Raman es la absorción y posterior emisión de un fotón al interactuar con electrones en un medio material con intercambio de energía con este medio, haciendo pasar al electrón a un estado virtual y generándose un nuevo fotón de energía mayor o menor que la del fotón incidente. La pérdida o ganancia de energía se explica mediante la generación de una partícula llamada fonón óptico.

25 El efecto Brillouin es similar al descrito como Raman pero el intercambio de energía se explica con la generación de un fonón acústico. Ambos efectos que producen nuevos fotones a frecuencias diferentes a las del fotón incidente (o fotón de bombeo) se aprovechan en la presente invención, y se usan como amplificadores distribuidos, ya que los fotones de baja señal toman energía de los fotones generados por estos procesos a lo largo de su propagación por la fibra óptica.

30 Los fenómenos no lineales de *scattering* Raman y Brillouin que tienen lugar en la fibra óptica, tienen una dependencia directa con las variaciones de temperatura (Raman y Brillouin) y deformaciones (Brillouin) que experimenta la fibra óptica, con lo que se convierten en técnicas directas de sensado de estas magnitudes.

35 Basados en estos fenómenos físicos, se han desarrollado a lo largo de los años distintas variedades de sensores, como son los basados en *scattering* lineal OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), y OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometer), y los basados en *scattering* no lineal como ROTDR (Raman Optical Time Domain Reflectometer), ROFDR (Raman Optical Frequency Domain Reflectometer), BOTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer), BOTDA (Brillouin Optical Time Domain Analyzer), BOFDA (Brillouin Optical Frequency Domain Analyzer). Todos ellos tienen una limitación insalvable e inherente a la fibra óptica que es la atenuación que sufre la luz al propagarse por ella. El rango en longitud de medida que presentan todos estos sistemas está entre las decenas de metros y la treintena de kilómetros.

40 Los sistemas de sensado distribuido en fibras existentes en el mercado actualmente son:

- FOS-TA: Fibre Optic Sensing Technology and Applications. Distributed Temperature and Strain Sensing (DTS & DTSS) System. Singapur. Máximo Rango de medida 30 km.

- Omnisens: DiTeSt: Distributed Temperature & Strain monitoring instruments. Suiza. Hasta 30 km, Similar instrumento comercializa SMARTTECH (Suiza).

45 - Neubrex Ltd. Japan. NEUBRESCOPE : Pre-Pump BOTDA Technique, Hasta 25 km.

- AGILENT Distributed Temperature System N4385A / N4386A Basado en *scattering* Raman sobre fibra multimodo, hasta 12 km.

- YOKOGAWA AQ8603 Optical Fiber Strain Analyzer, basado en Brillouin espontáneo.

Finalmente cabe decir que en los actuales sistemas comerciales de sensado la incertidumbre de medida se incrementa con la distancia al punto de sensado por el incremento entre otras cosas de la relación señal ruido de medida, con el consiguiente error en la magnitud medida.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

5 La invención se centra en la descripción de un sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, basado en un sistema de amplificación distribuida mediante efecto Raman en fibra, usando distintos láseres de bombeo y reflectores en fibra óptica. Con estos elementos se consigue inducir en la fibra óptica sensora las condiciones necesarias para la propagación de las señales del sensor en régimen de transparencia virtual, mejorando la relación señal-ruido en la señal del sensor, mejorando el rango dinámico y aumentando en hasta 250 km la longitud de alcance del sensor.

Mediante la presente invención se consigue además que la incertidumbre de medida, en todas y cada una de las variantes que aquí se quieren proteger, no varíe con la distancia al punto de sensado, quedando esta incertidumbre constante en toda la propagación (distancias de hasta 250 km).

Asimismo se describen distintas posibilidades de desarrollo de la técnica descrita:

- 15 a) El sistema de amplificación distribuida está basado en bombeo bi-direccional Raman con una única frecuencia desde ambos extremos de la fibra óptica sensora, en el cual las señales sensoras poseen longitudes de onda cercanas a las del primer desplazamiento Stokes Raman de los láseres de bombeo.
- 20 b) Variante en la cual el sistema de amplificación distribuida está basado en bombeo uni o bi-direccional Raman de orden uno o superior con varias frecuencias diferentes, capaces de amplificarse en cascada entre sí mediante dispersión Raman, en el cual las señales sensoras poseen longitudes de onda cercanas a las del primer Stokes de los láseres de bombeo de frecuencia más baja.
- c) Variante en la cual el sistema de amplificación distribuida se complementa con el uso de uno o más reflectores situados en línea con la fibra óptica sensora.
- 25 d) Variante en la cual el sistema de amplificación distribuida se complementa con el uso de uno o más reflectores, los cuales son utilizados para crear una cavidad óptica activa en la fibra sensora, consiguiendo de esta manera que la fibra sea un medio virtualmente transparente.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra un esquema de acuerdo con la propuesta a) de realización del sistema objeto de invención.

Figura 2.- Muestra un esquema de acuerdo con la propuesta e) de realización del sistema objeto de invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

35 El sistema propuesto para la mejora del rango dinámico y reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos de fibra óptica se aplica a cualquier tipo de sensor distribuido (1) de fibra óptica, independientemente de su tecnología de medida (OTDR, OFDR, ROTDR, ROFDR, BOTDR, BOTDA, BOFDA) y se acoplará en un puerto de entrada/salida (2a), o de entrada (2a) y de salida (2b), a través de unos acopladores ((3a) o (3a) y (3b)) dependiendo de la configuración en la que el sistema mida. Dicho sistema puede ser materializado en los siguientes ejemplos:

- 40 a) Se usan una o más fuentes (1a) luminosas. La luz emitida por ellas se inyecta a través del puerto de entrada (2a) en la fibra óptica sensora (4) mediante un acoplador (3a). Serán una o varias fuentes (1a) luminosas en función de si el sensor distribuido (1) susceptible de ser mejorado está basado en la interacción de dos señales introducidas en la fibra óptica sensora (4) en sentidos contrapropagantes (por ejemplo los sensores distribuidos (1) basados en efecto Brillouin), o bien en la interacción de una única señal con el medio (OTDR y sensores distribuidos (1) basados en efecto Raman). Además estas señales se emitirán en régimen pulsado o continuo en función del diseño particular del sensor.

La fibra óptica sensora (4) se tiende a lo largo del elemento objeto del sensado y se usará como medio en el que realizar amplificación basada en efecto Raman. La detección se realizará mediante apropiados sistemas de análisis espectral o detectores (1b) que se conectarán mediante el correspondiente puerto, de entrada/salida (2a), de

entrada (2a) y/o de salida (2b) a uno de los extremos de la fibra óptica sensora (4).

5 En primer lugar se propone el esquema representado en la figura 1 basado en amplificación Raman distribuida a lo largo de la fibra óptica sensora (4) utilizada como elemento sensor, la cual será bombeada desde ambos extremos con uno o varios láseres (5) de bombeo. De este modo tendremos bombeo bidireccional a una longitud de onda. Esta longitud de onda deberá ser tal que su primer orden Stokes de difusión Raman esté próximo a la longitud de onda de las señales sensoras. En fibras ópticas sensoras (4) esta señal Stokes se materializa en una banda de amplificación con una anchura espectral del orden de los terahercios. De este modo las señales sensoras serán amplificadas a lo largo de toda la fibra óptica sensora (4) de forma simétrica respecto al punto medio de la misma. En todo este esquema experimental hay que tener en cuenta los sentidos de propagación de la luz e introducir los componentes aisladores necesarios para que dichos sentidos se propaguen, sin interferencias con otros haces luminosos.

15 b) La segunda propuesta de realización de esta invención se distingue de la anterior en que en este caso el o los bombeos Raman se introducen de forma unidireccional en la fibra óptica sensora (4) y tendrán las características en intensidad necesarias para generar de forma inicialmente espontánea órdenes Stokes superiores. Estas nuevas señales se amplificarán unas a otras de forma consecutiva consiguiendo así desplazar espectralmente el fenómeno de amplificación Raman hasta la frecuencia deseada, que en este caso será próxima a la frecuencia de las señales sensoras.

c) Mismo esquema que el descrito en el apartado b., pero usando el esquema de bombeo Raman bidireccional descrito en a.

20 d) La cuarta propuesta experimental está basada en las ideas descritas en a., b. y c., pero en este caso se introducen unos reflectores (6) en fibra en línea con la fibra óptica sensora (4). De este modo la generación de frecuencias de Stokes de órdenes superiores descritos en b. será favorecida por la selección en longitud de onda que tendrá lugar en dichos reflectores (6), de una sección específica de la curva de ganancia Raman.

25 e) Por último se propone el esquema que se muestra en la figura 2. En este desarrollo experimental trabajamos sobre el esquema descrito en d., pero los reflectores (6) se encuentran en ambos extremos de la fibra óptica sensora (4), de modo que forman una cavidad óptica dentro de la cual tiene lugar la amplificación en cascada de los órdenes Stokes sucesivos.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, caracterizado porque comprende:

5 un sistema de sensado distribuido (1) de fibra óptica, basado en *scattering* Rayleigh, Raman o Brillouin, consistente en una o más fuentes (1a) emisoras de señales de sonda y bombeo, y uno o más detectores (1b) o analizadores espectrales,

una fibra óptica sensora (4) que transmite señales, siendo dicha fibra óptica sensora (4) utilizada como elemento sensor, que se conecta al sistema de sensado distribuido (1) mediante un puerto de entrada/salida (2a), o de entrada (2a) y de salida (2b), a través de unos acopladores ((3a) o (3a) y (3b)) dependiendo de la configuración en la que el sistema mida, y

10 un sistema de amplificación distribuida mediante efecto Raman, consistente en uno o más láseres (5) de bombeo, que bombean a la fibra óptica sensora (4) desde al menos uno de sus extremos.

2.- Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, de acuerdo con reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de amplificación distribuida está basado en bombeo bi-direccional Raman con una única frecuencia desde ambos extremos de la fibra óptica sensora (4), en el cual las señales sensoras poseen longitudes de onda cercanas a las del primer desplazamiento Stokes Raman de los láseres (5) de bombeo.

3.- Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, de acuerdo con reivindicación 1, caracterizado porque el sistema de amplificación distribuida está basado en bombeo uni o bi-direccional Raman de orden superior con varias frecuencias diferentes, capaces de amplificarse en cascada entre sí mediante *scattering* Raman, en el cual las señales transmitidas por la fibra óptica sensora (4) poseen longitudes de onda cercanas a las del primer desplazamiento Stokes de los láseres (5) de bombeo de frecuencia más baja.

4.- Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, caracterizado porque el sistema de amplificación distribuida comprende adicionalmente uno o más reflectores (6) adaptados para la mejora de la relación señal-ruido en las señales transmitidas por la fibra óptica sensora (4) y el aumento de la longitud de alcance del sistema de sensado distribuido (1).

5.- Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque los reflectores (6) están situados en línea con la fibra óptica sensora (4).

6.- Sistema para la mejora del rango dinámico y la reducción de la incertidumbre de medida en sensores distribuidos sobre fibra óptica, de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque los reflectores (6) se encuentran en ambos extremos de la fibra óptica sensora (4), de modo que forman una cavidad óptica activa para conseguir que la fibra óptica sensora (4) sea un medio virtualmente transparente, dentro de la cual tiene lugar la amplificación en cascada de los órdenes Stokes sucesivos.

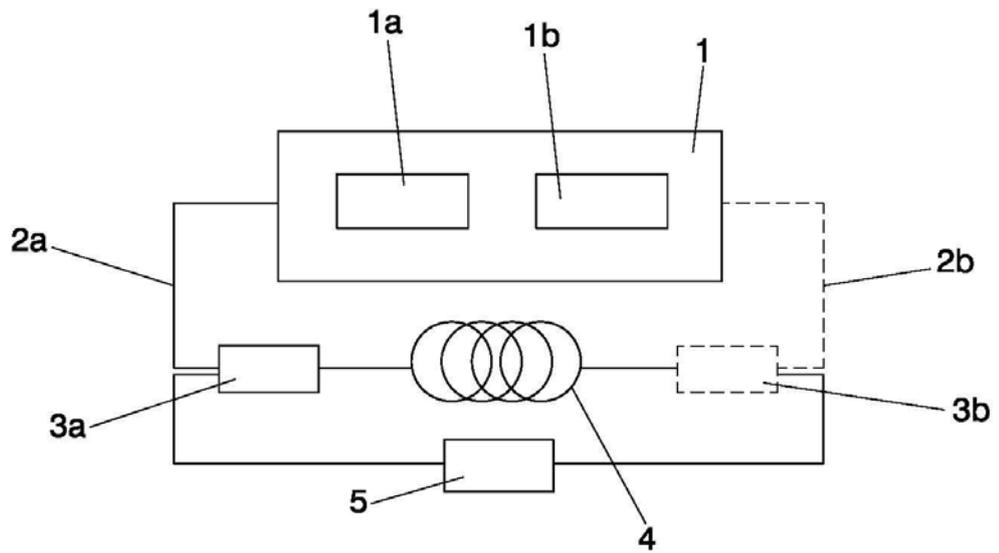


FIG. 1

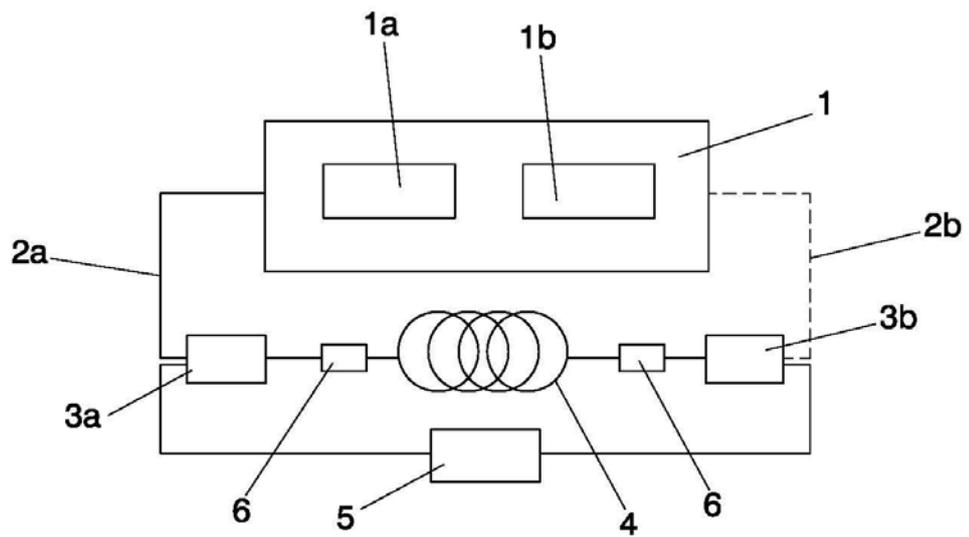


FIG. 2



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 200930201

②② Fecha de presentación de la solicitud: 22.05.2009

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	CN 201104243Y Y (UNIV JILIANG CHINA) 20.08.2008, todo el documento.	1
Y	EP 1339178 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 27.08.2003, todo el documento.	1
A		2-6
A	US 2002/0015220 A1 (PAPERNYL, S. et al.) 07.02.2002, todo el documento.	1-6
A	WO 9966607 A2 (BANDWIDTH SOLUTIONS, INC.) 23.12.1999, todo el documento.	1-6
A	US 7443575 B1 (IANNONE, P. et al.) 28.10.2008, todo el documento.	1-6

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
03.10.2012

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G01D5/353 (2006.01)

G02F1/39 (2006.01)

H04B10/18 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01D, G02F, H04B, H01S

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 03.10.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-6	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 2-6	SI
	Reivindicaciones 1	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	CN 201104243Y Y (UNIV JILIANG CHINA)	20.08.2008
D02	EP 1339178 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.)	27.08.2003

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera que el objeto definido en la reivindicación 1 de la presente Solicitud carece de actividad inventiva por poder ser deducido de forma evidente del estado de la técnica por un experto en la materia.

En efecto, el contenido, muy generalista, de dicha primera reivindicación coincide en sus principios esenciales con el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría Y (en combinación con D02) para dicha reivindicación, el cual describe un sistema sensor combinado de temperatura y tensiones mecánicas que se basa en la dispersión Raman (estimulada y espontánea) y en la dispersión de Brillouin de la fibra óptica, y que utiliza, para el incremento de la distancia de transmisión del sensor y la precisión en la medida, y para la mejora de la relación señal-ruido, un amplificador de efecto Raman distribuido.

El documento no expone, al menos en su resumen y figura más representativa, detalles constructivos sobre dicho amplificador Raman, pero un experto de la técnica, enfrentado al problema de construir dicho amplificador en la aplicación de sensado de D01, podrá recurrir de un modo evidente a disposiciones de amplificador Raman conocidas, y entre ellas la del documento D02 (citado también en el IET con la categoría Y para la reivindicación 1), que coincide, en sus características, con las expresadas de forma generalista en esta primera reivindicación. Así, D02 describe un amplificador de fibra óptica por efecto Raman para la compensación de la dispersión en una fibra de transmisión, que consiste en un tramo de fibra compensadora en el que se lleva a cabo una amplificación Raman, conectado por un elemento conector o recirculador adecuado a la fibra de transmisión y que tiene una fuente de luz de bombeo y un selector de longitudes de onda que suministra la luz de bombeo a la fibra compensadora con la longitud de onda deseada.

Puede concluirse, por tanto, que la combinación de D01 y D02 afecta a la actividad inventiva de dicha primera reivindicación, según el Artículo 8 de la vigente Ley de Patentes.