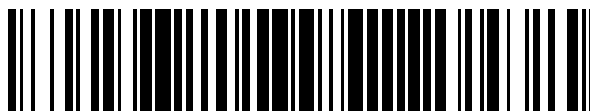


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 560 867**

51 Int. Cl.:

H01S 3/067 (2006.01)

H01S 3/23 (2006.01)

H01S 3/30 (2006.01)

H04B 10/294 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2007 E 07842869 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.12.2015 EP 2064781**

54 Título: **Sistema y método de igualación de ganancia y sistema de comunicación óptica que incorpora los mismos**

30 Prioridad:

21.09.2006 US 534026

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

23.02.2016

73 Titular/es:

**TYCO ELECTRONICS SUBSEA
COMMUNICATIONS LLC (100.0%)
250 Industrial Way West
Eatontown, New Jersey, NJ 07724-2296, US**

72 Inventor/es:

**NISSOV, MORTEN;
PILIPETSKII, ALEXEI N. y
LUCERO, ALAN J.**

74 Agente/Representante:

CAMACHO PINA, Piedad

ES 2 560 867 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

Sistema y método de igualación de ganancia y sistema de comunicación óptica que incorpora los mismos

5 **Campo de la técnica**

La presente solicitud se refiere a la transmisión óptica de información y, más en particular, a un sistema y método de igualación de ganancia y a un sistema de comunicación óptica que incorpora los mismos.

10 **Antecedentes**

Los sistemas de comunicación óptica de largo recorrido, por ejemplo unos sistemas de unas longitudes más grandes que aproximadamente 600 kilómetros, adolecen de una atenuación de señal que resulta de diversos factores, incluyendo dispersión, absorción y flexión. Para compensar la atenuación, los sistemas de largo recorrido pueden incluir una serie de amplificadores ópticos que están separados a lo largo de la trayectoria de transmisión entre un transmisor y un receptor. Los amplificadores amplifican la señal óptica de una forma que permite una detección fiable en el receptor.

Los amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA, *erbium doped fiber amplifier*) se han mostrado particularmente útiles en los sistemas de largo recorrido. En general, un EDFA incluye un segmento de fibra dopada con erbio que se "bombea" con luz a partir de una o más fuentes de bombeo. La fuente de bombeo, por ejemplo un láser, excita átomos de erbio en el segmento dopado, que sirven entonces para amplificar la señal óptica que pasa a su través.

También se conocen los amplificadores de Raman. La amplificación de Raman tiene lugar por la totalidad de un segmento de fibra de transmisión óptica cuando este se bombea a una longitud de onda o longitudes de onda asociadas. Cada amplificador de Raman puede contener una o más bombas. La ganancia se logra a lo largo de un espectro de longitudes de onda más largas que la longitud de onda de bombeo a través del proceso de Dispersión de Raman Estimulada. A pesar de que la eficiencia de potencia asociada con los amplificadores de Raman es menor que la que se logra por los EDFA, los amplificadores de Raman pueden proporcionar un mejor comportamiento frente al ruido por medio de una amplificación distribuida en la fibra de transmisión.

Los amplificadores de Raman/EDFA híbridos (HRE, *hybrid Raman/EDFA*) combinan las características de los amplificadores tanto de Raman como EDFA. En un HRE, una porción de Raman por lo general actúa como un preamplificador antes de un EDFA. La adición de una amplificación de Raman a una configuración de EDFA prevé un aumento económico en la separación entre los amplificadores sobre la trayectoria de transmisión en comparación con el uso de los EDFA exclusivamente.

En un sistema de comunicación óptica multiplexado por división de longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexed*), varias señales ópticas son transmitidas por la misma fibra a diferentes longitudes de onda/canales. Lo ideal es que los amplificadores ópticos en un sistema de WDM deberían amplificar cada canal dentro del ancho de banda de sistema al mismo nivel de ganancia. Si los canales transmitidos se amplifican de manera no uniforme, los canales se pueden perder en última instancia debido a una sub-amplificación progresiva a medida que estos se propagan en la trayectoria de transmisión.

Desafortunadamente, los EDFA y los amplificadores de Raman y, en consecuencia, los HRE, muestran unas características de ganancia no planas a través del ancho de banda de sistema que está asociado con los sistemas de WDM. El alisamiento de ganancia o la igualación de ganancia se pueden, no obstante, lograr mediante el uso de filtros de alisamiento de ganancia. Los filtros de alisamiento de ganancia vuelven el nivel de ganancia sustancialmente plano a través del ancho de banda de sistema. En un EDFA de múltiples fases, por ejemplo, se puede proporcionar un filtro de alisamiento de ganancia entre fases de EDFA. En las configuraciones de HRE, en las que el EDFA a menudo es de un diseño de una sola fase, se han proporcionado unos filtros de alisamiento de ganancia en la salida de la porción de EDFA del HRE.

Los sistemas submarinos de largo recorrido pueden consistir en unos tramos muy largos y, de manera subsiguiente, estar limitados en cuanto a la potencia de bombeo. Es decir, la potencia de bombeo disponible para un amplificador puede estar limitada en la práctica a un nivel máximo por debajo del que sería necesario para lograr un comportamiento de transmisión óptico. En un sistema de este tipo que incorpora unos HRE, con el fin de recibir los plenos beneficios de la preamplificación de Raman, puede ser deseable hacer un uso eficiente de la potencia de bombeo limitada.

La provisión de unos filtros de alisamiento de ganancia en la salida de la porción de EDFA de un HRE (a lo que se hace referencia en el presente documento como filtrado posterior), no obstante, da como resultado el filtrado de una porción significativa de la potencia que es impartida por la sección de EDFA, malgastando efectivamente la potencia de bombeo. La figura 6, por ejemplo, incluye unas representaciones gráficas 600 de la potencia de señal frente a la longitud de onda que ilustran la potencia que se pierde en la igualación usando un enfoque de filtrado posterior. La representación gráfica 602 ilustra un espectro de potencia de salida de EDFA que se proporciona en la entrada de

un filtro de alisamiento de ganancia, y la representación gráfica 604 ilustra el espectro de potencia en la salida del filtro de alisamiento de ganancia. La región 606 entre la representación gráfica 602 y la representación gráfica 604 representa la pérdida en la potencia de señal que resulta del filtrado posterior. Tal como se muestra, a pesar de que el espectro de potencia 604 en el filtro de salida está alisado en comparación con el espectro de potencia 602 en la entrada del filtro, el alisamiento de ganancia se logra con una pérdida significativa de la potencia de señal. En la realización a modo de ejemplo que se ilustra, 5,65 dBm de la potencia de señal se malgastan efectivamente mediante un enfoque de filtrado posterior.

El documento US 2002/0131160 divulga una red óptica de alta velocidad de largo recorrido de dispersión gestionada, con una amplificación de Raman distribuida para obtener un alcance de transmisión de 2000 km o más, con unas secciones que tienen unos tramos individuales de 80-100 km. El tramo final de cada sección comprende una amplificación de Raman seguida por un filtro de alisamiento de ganancia de dispersión y a continuación un amplificador óptico.

El documento técnico "*Characteristics of low noise hybrid fiber amplifier*", Sun Hyok Chang y col., *Optics Communications*, 261 (15-05-2006), págs. 269-275, divulga un amplificador de fibra híbrido de tres fases que comprende una pre-fase de EDA de corta longitud, un amplificador de Raman de DCF y un EDA de refuerzo de potencia. El amplificador de fibra híbrido también comprende un filtro de alisamiento de ganancia que está conectado entre el amplificador de Raman de DCF y el EDA de refuerzo de potencia.

Por lo tanto, hay una necesidad de un sistema y método de igualación de ganancia en un Raman/EDFA híbrido que se usa en sistemas de comunicación óptica WDM submarinos de largo recorrido que prevea un uso más eficiente de la potencia de bombeo de amplificador. También hay una necesidad de un sistema de comunicación óptica WDM submarino que incorpore un sistema de este tipo.

Breve descripción de los dibujos

Se debería hacer referencia a la siguiente descripción detallada que se debería leer junto con las siguientes figuras, en las que números semejantes representan partes semejantes:

la figura 1 es un diagrama de bloques simplificado de una realización a modo de ejemplo de un sistema de comunicación óptica consistente con la presente invención;

la figura 2 es un diagrama de bloques de un amplificador de Raman/EDFA híbrido a modo de ejemplo consistente con la presente invención;

la figura 3 incluye unas representaciones gráficas del número inverso de la relación de la señal óptica con respecto al ruido (1/OSNR) frente a la longitud de tramo que muestran los niveles de ASE y MPI que son generados por las porciones de Raman y de EDFA de un Raman/EDFA híbrido consistente con la presente invención;

la figura 4 incluye unas representaciones gráficas del número inverso de la relación de la señal óptica con respecto al ruido (1/OSNR) frente a la longitud de onda que muestran los niveles de ASE y MPI que son generados por las porciones de Raman y de EDFA de un amplificador de Raman/EDFA híbrido consistente con la presente invención;

la figura 5 incluye unas representaciones gráficas del número inverso de la relación de la señal óptica con respecto al ruido (1/OSNR) frente a la longitud de onda que muestran los niveles de ASE y MPI que son generados por las porciones de Raman y de EDFA de un amplificador de Raman/EDFA híbrido de la técnica anterior usando un filtrado posterior;

la figura 6 incluye unas representaciones gráficas de la potencia de señal frente a la longitud de onda que ilustran la potencia que se pierde en una configuración de la técnica anterior usando un filtrado posterior; y

la figura 7 es un diagrama de bloques de otro amplificador a modo de ejemplo consistente con la presente invención.

Descripción detallada

Pasando a continuación a la figura 1, se ilustra un sistema de comunicación óptica 100 a modo de ejemplo consistente con la presente invención. Los expertos en la materia reconocerán que el sistema 100 se ha representado como un sistema de punto a punto sumamente simplificado para facilitar la explicación. Ha de entenderse que la presente invención se puede incorporar en una amplia diversidad de sistemas y redes ópticas.

El sistema de comunicación óptica 100 a modo de ejemplo que se ilustra incluye un transmisor 102 y un receptor 106 que están conectados por medio de una trayectoria de transmisión óptica 104. En el transmisor 102, una pluralidad de señales ópticas separadas se pueden generar mediante la modulación de datos en cada una de una pluralidad de diferentes longitudes de onda/canales dentro de un ancho de banda de señal. El transmisor 102 puede combinar los canales separados para dar una señal óptica agregada y transmitir la señal óptica agregada a lo largo de la trayectoria de información óptica 104 al receptor 106. A pesar de que el sistema 100 se ilustra como que incluye un transmisor 102 y un receptor 106 diferenciados, los expertos en la materia reconocerán que cada uno del transmisor 102 y el receptor 106 se puede configurar como un transceptor para facilitar una comunicación

bidireccional a lo largo de la trayectoria de información óptica.

Dependiendo de las características y los requisitos del sistema, la trayectoria de transmisión óptica 104 puede incluir, una fibra de transmisión óptica 110, unos amplificadores ópticos/repetidores 108-1, 108-2, 108-3, 108-(N-1), 108-N consistentes con la presente invención, filtros ópticos y otros componentes activos y pasivos. Por claridad, en la trayectoria de información óptica 104 se ilustran solo los amplificadores ópticos/repetidores 108-1, 108-2, 108-3, 108-(N-1), 108-N y la fibra de transmisión óptica 110. Unas configuraciones de amplificador óptico consistentes con la presente invención se describirán con mayor detalle en el presente documento. Configuraciones para otros componentes que están incluidos en la trayectoria de transmisión son conocidas por los expertos en la materia.

El sistema 100 se puede configurar como un sistema de largo recorrido, por ejemplo que tiene una longitud desde el transmisor hasta el receptor de más de aproximadamente 600 km, y puede abarcar una masa de agua 112. Cuando se usan para abarcar una masa de agua, por ejemplo un océano, los amplificadores/repetidores 108-1, 108-2, 108-3, 108-(N-1), 108-N pueden estar asentados sobre el fondo 114 del océano y la trayectoria de transmisión 104 se puede extender entre los accesos a playa 116, 118 para extenderse a partir del agua 112 para el acoplamiento con el transmisor 102 y el receptor 106. Se apreciará que una pluralidad de componentes de transmisión óptica se pueden acoplar con la trayectoria de transmisión 104 y se pueden disponer bajo agua y/o sobre tierra.

En general, la distancia entre amplificadores ópticos define una longitud de tramo de transmisión. La realización a modo de ejemplo que se ilustra incluye una pluralidad de tramos, 124-1, 124-2, 123-3 ... 124-(I-1), 124-I. Los expertos en la materia reconocerán que las longitudes de tramo pueden variar de forma significativa en un sistema particular. En un sistema de largo recorrido, por ejemplo, algunos tramos pueden ser tan cortos como 20 kilómetros, al tiempo que algunos tramos pueden superar 100 km. A la vista de la variación de longitudes de tramo, la atenuación de señal varía de tramo a tramo.

Los amplificadores 108-1, 108-2, 108-3, 108-(N-1), 108-N se pueden configurar para compensar la atenuación de señal mediante la amplificación de las longitudes de onda de señal óptica en el ancho de banda de señal. Una realización a modo de ejemplo de un amplificador 108 consistente con la presente invención se ilustra en la figura 2. La realización a modo de ejemplo que se ilustra está configurada como un amplificador de Raman/EDFA híbrido (HRE) que incluye una porción de amplificador de Raman 202 y una porción de EDFA 204. La porción de Raman 202 puede incluir un segmento de fibra de transmisión 206 en el que se genera una ganancia de Raman para amplificar una señal óptica que se propaga a través de la trayectoria 104. La energía a partir de una o más fuentes de bombeo de Raman 210 se puede acoplar con el segmento 206 de la fibra de transmisión 110 mediante un acoplador 208. La porción de EDFA 204 puede ser un EDFA de una sola fase o de múltiples fases, y puede incluir una o más fuentes de bombeo de EDFA 212, un acoplador 214, un segmento de fibra dopado con erbio 216, y un aislador 218. Diversas configuraciones para las fuentes de bombeo de Raman y de EDFA que se pueden controlar de forma local o a distancia son conocidas por los expertos en la materia. Así mismo, las fuentes de bombeo se pueden acoplar con la trayectoria óptica 104 en una configuración conocida.

La realización a modo de ejemplo que se ilustra incluye un filtro de alisamiento de ganancia (GFF, *gain flattening filter*) 220 que está acoplado entre la porción de Raman 202 y la porción de EDFA 204 (a lo que se hace referencia en el presente documento como filtrado previo). Tal como se muestra, la salida de la porción de Raman 202 está acoplada de forma óptica a la entrada del GFF a través de un aislador 222 y la entrada de la porción de EDFA 204 está acoplada de forma óptica a la salida del GFF a través de un aislador 224. En general, el GFF recibe la salida amplificada de la porción de Raman y proporciona una entrada a la porción de EDFA que tiene un espectro conformado de nuevo en comparación con la entrada que es recibida por el GFF a partir de la porción de Raman. El perfil de pérdida de inserción de GFF se puede diseñar para alisar las formas de ganancia combinadas de las secciones de Raman y de EDFA. Por ejemplo, las características de transmitancia del GFF se pueden seleccionar teniendo en cuenta las características de ganancia de las porciones de ganancia de Raman 202 y de EDFA 204 de tal modo que la amplificación de la salida del GFF por la porción de EDFA 204 proporciona una salida de amplificador 226 que está alisada hasta un nivel deseado.

Se conoce diversas configuraciones de GFF que incluyen uno o más elementos de filtro separados para reducir la ganancia frente a la variación de longitud de onda de una señal que se aplica a una entrada de los mismos. El grado de alisamiento de ganancia que es logrado por un GFF en una aplicación particular consistente con la presente invención puede ser sumamente dependiente de la forma de ganancia total de la entrada al filtro, la configuración de filtro específica, etc. En una realización, la ganancia se puede alisar para mostrar una variación de menos de aproximadamente 1 dB de pico a pico. Para los amplificadores con grandes cantidades de ganancia que compensan las pérdidas de tramos muy largos, la variación de ganancia alisada puede ser peor en comparación con los casos con unos tramos más cortos.

La colocación un GFF entre una porción de Raman y una porción de EDFA de un HRE y la evitación de un GFF en la salida de una porción de EDFA, tal como se muestra por ejemplo en la figura 2, permite que el HRE proporcione una potencia de señal alta en la trayectoria de transmisión óptica usando unas potencias de bombeo razonables. En un sistema submarino de largo recorrido, la potencia de bombeo disponible para bombear una porción de EDFA de un HRE puede estar limitada en la práctica a menos de aproximadamente 400 mW. En una realización a modo de

ejemplo de un sistema consistente con la presente invención, se pueden lograr unos tramos de transmisión en exceso de 120 km usando una potencia de bombeo para la porción de EDFA de menos de aproximadamente 400 mW.

5 Estas ventajas en la eficiencia de potencia de bombeo se pueden lograr sin degradar de forma significativa el comportamiento frente al ruido total del amplificador en comparación con una configuración en la que se proporciona un GFF en la salida de la porción de EDFA. Los elementos que contribuyen al ruido que es generado por un HRE incluyen un ruido de emisión espontánea amplificada (ASE, *amplified spontaneous emission*) que es generado en las porciones de Raman y de EDFA y unas interferencias de múltiples trayectorias (MPI, *multi-path interference*) que se generan en la porción de Raman. La figura 3 incluye las representaciones gráficas 300 en una escala logarítmica del número inverso simulado de las relaciones de la señal óptica con respecto al ruido ($1/\text{OSNR}$) frente a la longitud de tramo que muestran los niveles de ASE y MPI que son generados por las porciones de Raman y de EDFA de unos HRE con filtrado previo que están diseñados para 96 canales, consistentes con la presente invención. En las representaciones gráficas 300, cada marcador representa un canal. Los marcadores circulares 302, 308, y 314 ilustran la ASE que es generada en la porción de Raman del HRE, los marcadores cuadrados 304, 312, y 318 ilustran la ASE que es generada en la porción de EDFA del HRE, y los marcadores en forma de rombo 306, 310 y 316 ilustran la MPI que se genera en la porción de Raman del HRE.

20 Tal como se muestra, para unas longitudes de tramo de 120 km o más el ruido de ASE a partir de la porción de Raman del HRE es dominante sobre el ruido de ASE a partir de la porción de EDFA del HRE. A medida que la longitud de tramo aumenta más allá de 120 km, la porción de EDFA muestra una forma de ganancia más extrema y un rango más amplio de OSNR, pero la ASE que es generada en la porción de Raman sigue siendo más del doble del nivel de la ASE en el EDFA. Cuando el ruido a partir de la porción de Raman prevalece sobre el ruido a partir de la porción de EDFA, la provisión de un GFF entre una porción de Raman y una porción de EDFA tiene un impacto adverso mínimo sobre el comportamiento frente al ruido de amplificador total en comparación con la provisión de un GFF en la salida de la porción de EDFA. Por lo tanto, cuando en tales sistemas se usa una configuración consistente con la invención, se puede lanzar a la trayectoria de transmisión una potencia de señal más alta usando unas potencias de bombeo razonables y sin degradar de forma significativa el comportamiento frente al ruido total del sistema.

30 La figura 4, por ejemplo, incluye las representaciones gráficas 400 en una escala logarítmica del número inverso de la relación de la señal óptica con respecto al ruido ($1/\text{OSNR}$) frente a la longitud de onda para un HRE de 150 km que emplea un filtrado previo consistente con la presente invención. Las representaciones gráficas 402 y 404 muestran los niveles de ASE y MPI, respectivamente, que son generados por la porción de Raman y la representación gráfica 406 muestra el nivel de ASE que es generado por la porción de EDFA. La representación gráfica 408 muestra el comportamiento frente al ruido de amplificador total que resulta de la ASE de Raman 402 y la MPI 404 y la ASE de EDFA 406. La figura 5 incluye las representaciones gráficas 500 en una escala logarítmica del número inverso de la relación de la señal óptica con respecto al ruido ($1/\text{OSNR}$) frente a la longitud de onda para un HRE que emplea un filtrado posterior. Las representaciones gráficas 502 y 504 muestran los niveles de ASE y MPI, respectivamente, que son generados por la porción de Raman y la representación gráfica 506 muestra la ASE que es generada por la porción de EDFA. La representación gráfica 508 muestra el comportamiento frente al ruido de amplificador total que resulta de la ASE de Raman 502 y la MPI 504 y la ASE de EDFA 506. Las representaciones gráficas que se exponen en las figuras 4 y 5 se generaron usando unos datos que se derivan de un sistema simulado que incluye 96 canales usando unos HRE con una potencia de lanzamiento total de 21 dBm, que se calcula para un único amplificador. La porción de Raman del HRE simulado se bombeó a 1450 nm y la porción de EDFA se bombeó a 980 nm. Los GFF en los sistemas simulados contribuyeron a una pérdida promedio de 5,3 dB en el ancho de banda de señal que se ilustra y a una pérdida de pico de 7,9 dB.

50 Para lograr la potencia de lanzamiento requerida para el sistema asociado con la figura 4 en el que el GFF estaba acoplado entre las porciones de Raman y de EDFA, la potencia de bombeo de EDFA se estableció a 295 mW. Para lograr la potencia de lanzamiento requerida para el sistema asociado con la figura 5 en el que el GFF se proporcionó en la salida de la porción de EDFA, la potencia de bombeo de EDFA se estableció a 1072 mW. Tal como se muestra en las figuras 4 y 5, las contribuciones de ruido a partir de la porción de Raman 402, 404 y 502, 504 fueron dominantes en relación con el ruido de ASE que es generado por el EDFA 406, 506, y no cambian con la ubicación del GFF. Hay una mejora en el ruido de ASE que es generado por el EDFA cuando el GFF se sitúa después de la porción de EDFA, tal como se muestra en la figura 5, pero, tal como se muestra en las representaciones gráficas 408 y 508, el comportamiento frente al ruido total de los sistemas asociados con las figuras 4 y 5 es casi idéntico. Un sistema consistente con la presente invención permite por lo tanto el uso de significativamente menos potencia de bombeo que un sistema que incluye un GFF en la salida de una porción de EDFA sin afectar de forma significativa al comportamiento frente al ruido de sistema. Cuando la potencia de bombeo está limitada, por ejemplo en un sistema submarino de largo recorrido, las eficiencias asociadas con un sistema consistente con la presente invención pueden proporcionar una ventaja significativa en el alcance del sistema en comparación con un sistema que incluye un GFF en la salida de una porción de EDFA.

65 Los beneficios de un filtrado previo consistente con la presente invención también se pueden lograr en un sistema que incluye un amplificador óptico con bombeo a distancia (ROPA, *remote optical pumped amplifier*). La figura 7, por

ejemplo, ilustra una configuración de amplificador/repetidor 108a en la que una ganancia de Raman que se genera en un segmento de la fibra de transmisión 206a de una porción de Raman 202a es complementada por la ganancia a partir de un ROPA 702. Las configuraciones de ROPA son conocidas por los expertos en la materia, e incluyen, en general, un segmento de fibra dopado 704, por ejemplo un segmento de fibra dopado con erbio, integrado en la fibra de transmisión 110. En la realización a modo de ejemplo que se ilustra, el segmento de fibra dopado 704 está dispuesto entre los segmentos de fibra de transmisión 708 y 206a.

Una o más fuentes de bombeo pueden bombear el segmento de fibra de transmisión 206a y el segmento de fibra dopado 704 para amplificar una señal óptica que se propaga a través de los segmentos. En la realización a modo de ejemplo que se ilustra, se proporciona una única fuente de bombeo de Raman/ROPA 706 en el amplificador/repetidor 108a. La energía para bombear tanto el segmento 206a como el segmento dopado 704 se puede acoplar a partir de la fuente de bombeo 706 mediante un acoplador 208. A medida que una señal óptica se propaga a través de la fibra de transmisión, una ganancia es impartida a la señal a través del bombeo del segmento de fibra dopado 704 y una ganancia de Raman es impartida a través del bombeo del segmento de fibra de transmisión 206a. En una realización, el segmento dopado 704 del ROPA puede estar ubicado de manera física en la trayectoria de transmisión a una distancia de 20-120 km con respecto de la fuente de bombeo 706. A pesar de que se ilustra una única fuente de bombeo de Raman/ROPA 706, se pueden proporcionar unas fuentes de bombeo separadas para la porción de Raman 202a y el ROPA 702. Así mismo, unas fuentes de bombeo de Raman y/o de ROPA pueden estar ubicadas de manera física en un repetidor, por ejemplo 108a, o en un terminal de sistema 102 o 106.

En la realización 108a a modo de ejemplo que se ilustra, se proporciona un filtro de alisamiento de ganancia (GFF) 220 entre la porción de Raman 202a y una porción de EDFA 204 para proporcionar un filtrado previo. Debido a que el ruido de amplificador total puede estar dominado por las componentes de ruido de ASE de Raman y de ROPA, un filtrado previo al tiempo que se evita un GFF en la salida de la porción de EDFA 204 proporciona unos beneficios asociados con la eficiencia de potencia de bombeo, tal como se ha descrito en lo que antecede.

De acuerdo con diversas realizaciones de la invención, se proporciona un sistema de comunicación óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones adjuntas 1 a 8, y un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones adjuntas 9 y 10.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de comunicación óptica (100) que comprende:

5 un transmisor (102) que está configurado para transmitir una señal óptica agregada que comprende una pluralidad de señales ópticas a diferentes longitudes de onda asociadas en un ancho de banda de señal; un receptor (106) que está configurado para recibir dicha señal óptica agregada y detectar datos que están modulados sobre dicha pluralidad de señales ópticas; y una trayectoria de transmisión (104) que se extiende entre dicho transmisor y dicho receptor, comprendiendo dicha trayectoria de transmisión,

10 por lo menos un primer y un segundo amplificadores (108_1, 108_2) que están separados por un tramo de transmisión (124_2), siendo por lo menos el primer amplificador (108_1) un amplificador de Raman/EDFA híbrido que comprende

15 una porción de Raman (202) que comprende un segmento de trayectoria de transmisión (206) que está configurado para ser bombeado por, por lo menos, una bomba de Raman (210) para impartir una ganancia de Raman a por lo menos una porción de dicho ancho de banda de señal, una porción de EDFA (204) para impartir una ganancia a por lo menos una porción de dicho ancho de banda de señal, y un filtro de alisamiento de ganancia (220) que está acoplado entre dicha porción de Raman y dicha porción de EDFA de dicho Raman/EDFA híbrido sin filtro de alisamiento de ganancia alguno acoplado a una salida (226) de dicha porción de EDFA, mediante lo cual la porción de EDFA (204) comprende por lo menos una fibra dopada con erbio (216) que está configurada para ser bombeada por, por lo menos, una bomba de EDFA (212), y la ganancia que es impartida por la porción (204) es una ganancia de EDFA; el tramo de transmisión (124_2) es de una longitud de por lo menos 120 km; y dicha por lo menos una bomba de Raman (210) y dicha por lo menos una bomba de EDFA (212) están configuradas para bombear dicho segmento de trayectoria de transmisión (206) y dicho segmento de fibra dopada con erbio (216), respectivamente, para lograr una ganancia de amplificador con un ruido de emisión espontánea amplificada (ASE) que es generado por dicha porción de Raman que supera el ruido de ASE que es generado por dicha porción de EDFA.

2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha por lo menos una bomba de EDFA (212) está configurada para bombear dicha fibra dopada con erbio a una potencia de bombeo de menos de aproximadamente 400 mW.

3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha trayectoria de transmisión (104) tiene una longitud de por lo menos 600 km para abarcar una masa de agua.

4. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho primer amplificador comprende una única de dichas bombas de Raman (210) y una única de dichas bombas de EDFA (212).

5. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha por lo menos una bomba de Raman (210) está configurada para bombear dicho segmento de fibra de transmisión (206) a una longitud de onda de aproximadamente 1450 nm y dicha por lo menos una bomba de EDFA (212) está configurada para bombear dicha fibra dopada con erbio (216) a una longitud de onda de aproximadamente 980 nm.

6. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho filtro de alisamiento de ganancia (220) está acoplado a una salida de dicha porción de Raman (108) a través de un primer aislador (222) y está acoplado a una entrada de dicha porción de EDFA (204) a través de un segundo aislador (224).

7. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo adicionalmente dicho sistema un amplificador óptico con bombeo a distancia (702) que comprende un segmento dopado (704) de dicha trayectoria de transmisión, estando dicho segmento dopado configurado para ser bombeado por, por lo menos, una bomba (706) para impartir una ganancia a por lo menos una porción de dicho ancho de banda de señal.

8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicha por lo menos una bomba (706) comprende dicha por lo menos una bomba de Raman.

9. Un método de amplificación de una señal óptica para lanzar la señal sobre un tramo de transmisión (124_2) de por lo menos 120 km usando un amplificador de Raman/EDFA híbrido (108_1) que incluye una porción de ganancia de Raman (202) que tiene una salida que está acoplada a una entrada de una porción de ganancia de EDFA (204), comprendiendo dicho método alisar la ganancia de amplificador solo entre la porción de ganancia de Raman y la porción de ganancia de EDFA de dicho amplificador de Raman/EDFA híbrido;

bombear dicha porción de EDFA (204) a una potencia de bombeo de menos de aproximadamente 400 mW; y bombear dicha porción de Raman (202) para lograr una ganancia de amplificador con un ruido de emisión espontánea amplificada (ASE) que es generado por dicha porción de Raman (202) que supera el ruido de ASE que es generado por dicha porción de EDFA (204).

- 5
10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que dicho amplificador incluye un amplificador óptico con bombeo a distancia (706), y en donde dicho método comprende adicionalmente bombear dicha porción de Raman (202a) y dicho amplificador óptico con bombeo a distancia (706) para lograr una ganancia de amplificador con un ruido de emisión espontánea amplificada (ASE) que es generado por dicha porción de Raman y dicha porción de amplificador óptico a distancia que supera el ruido de ASE que es generado por dicha porción de EDFA.
- 10

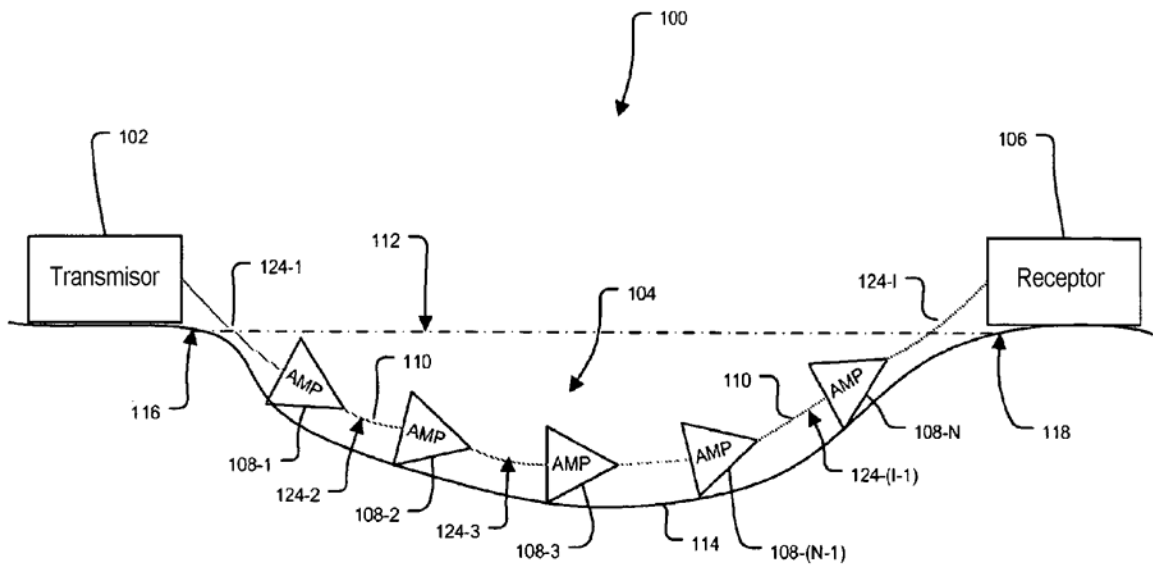


FIG. 1

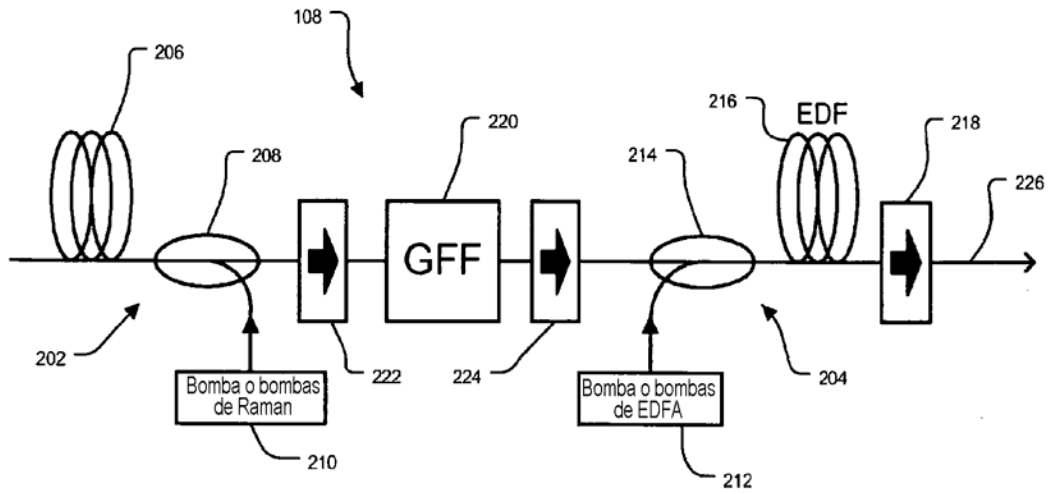


FIG. 2

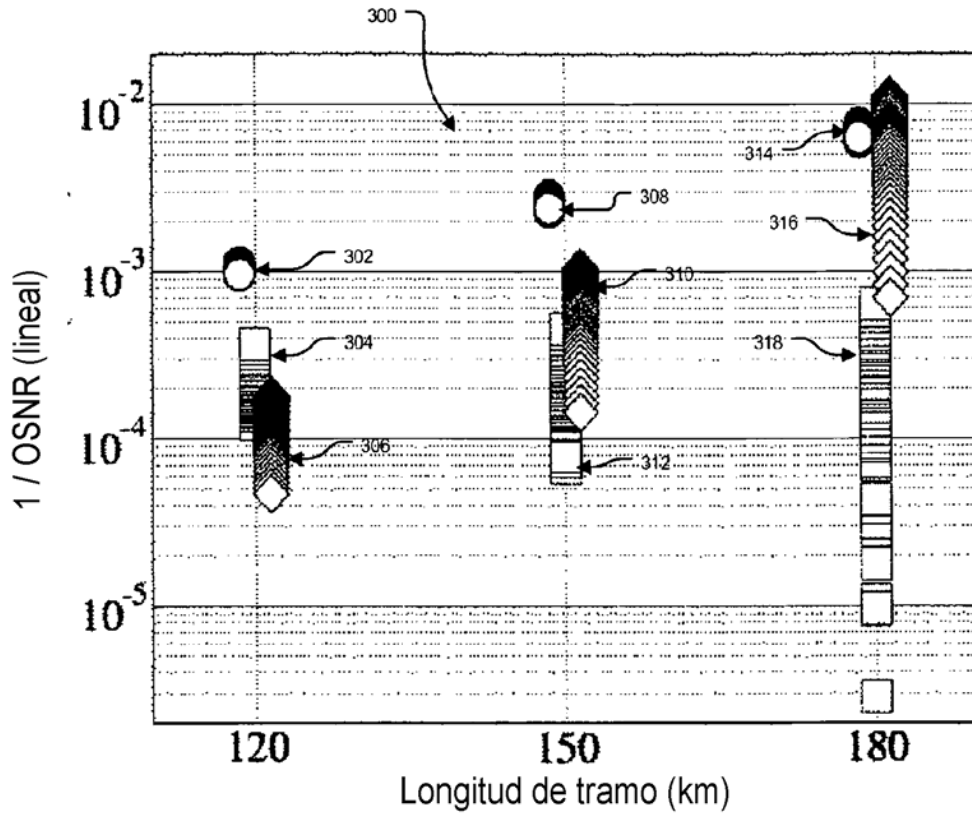


FIG. 3

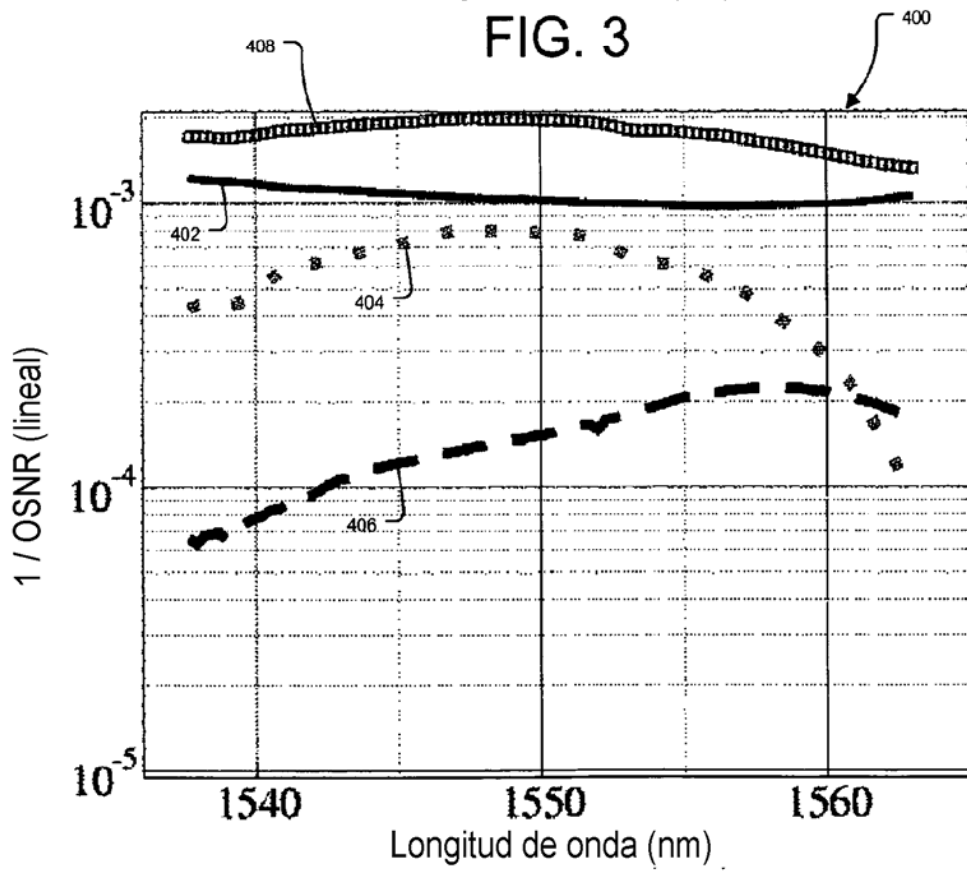


FIG. 4

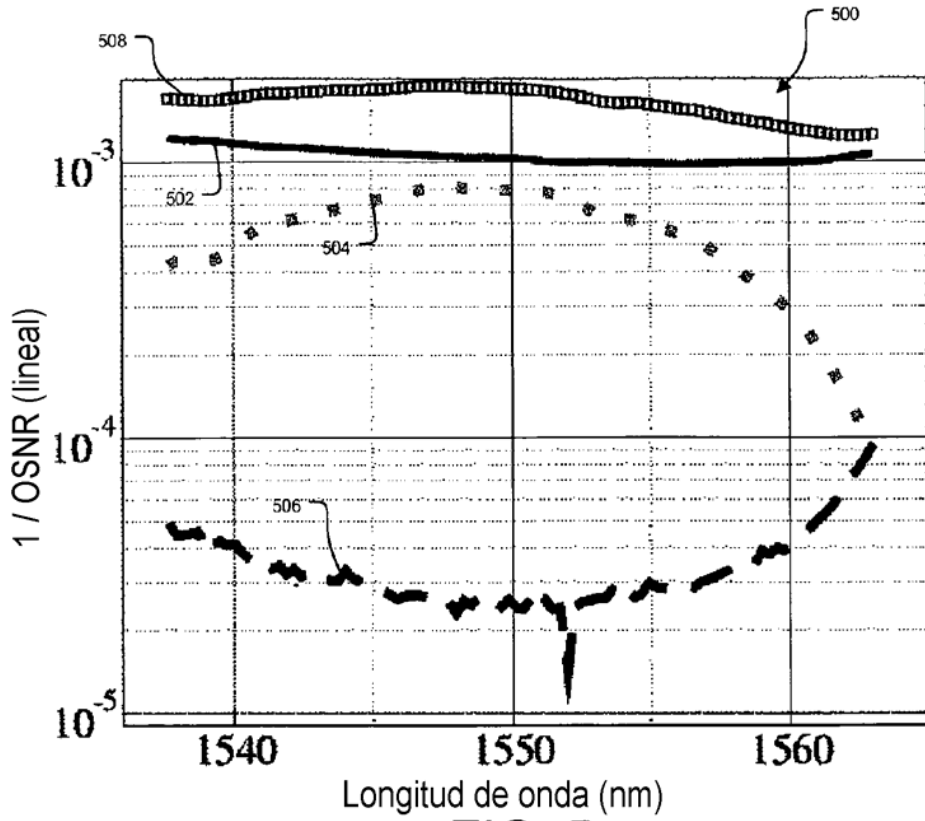


FIG. 5
Técnica anterior

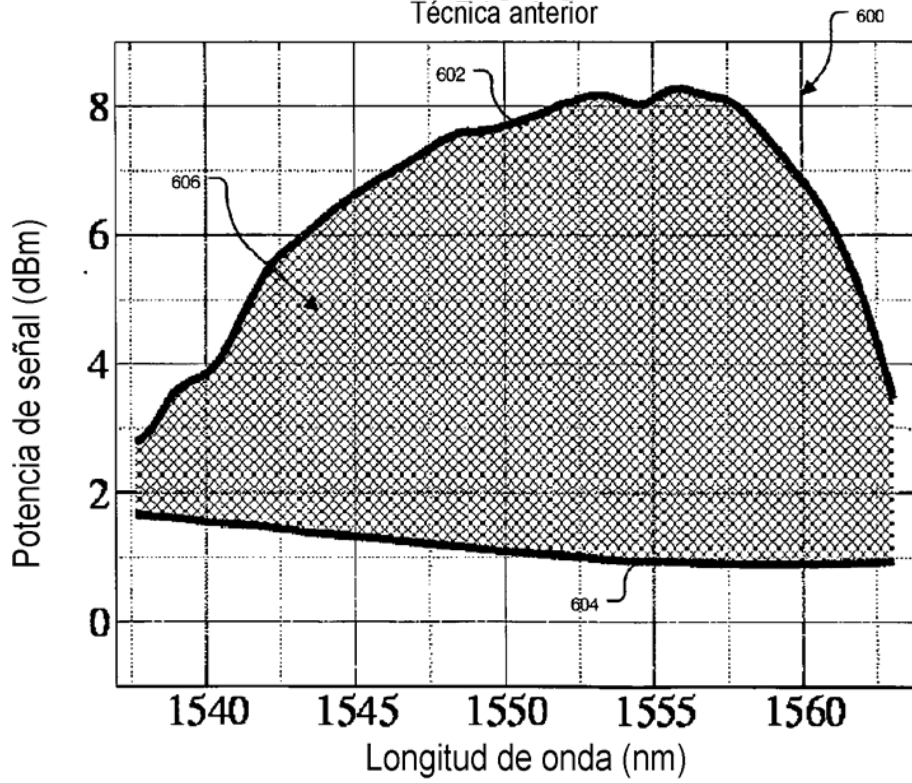


FIG. 6

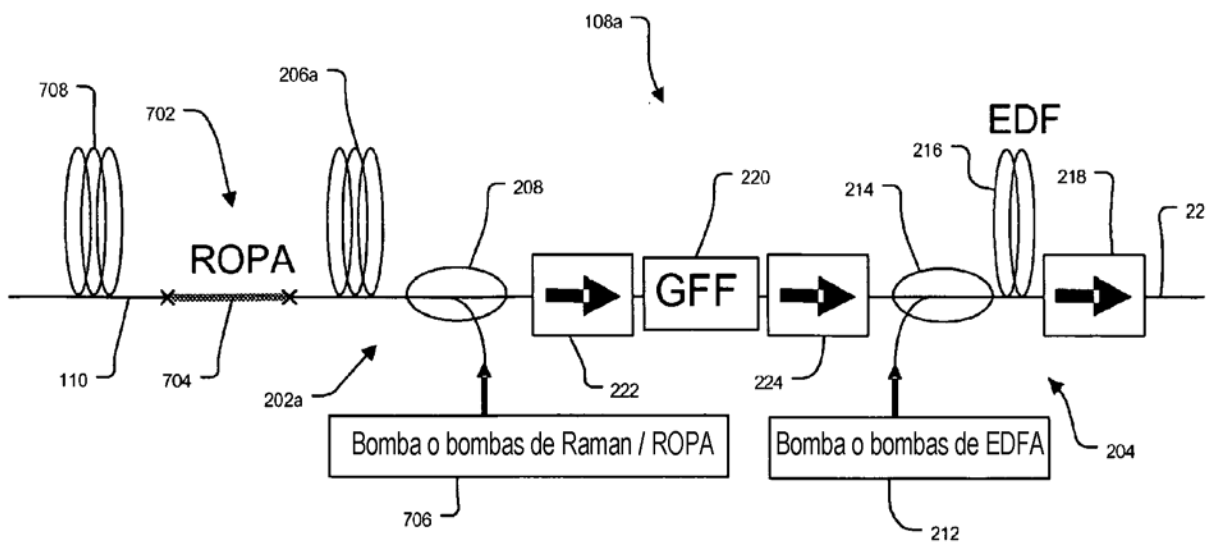


FIG. 7