

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 075**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/50** (2013.01)

**H04B 10/516** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.01.2008 PCT/CN2008/070102**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.07.2008 WO08089676**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.01.2008 E 08700115 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017 EP 2122865**

54 Título: **Método y aparato para la generación de señales duobinarias ópticas con sensibilidad del receptor y rendimiento espectral mejorados**

30 Prioridad:

**18.01.2007 US 881120 P**  
**01.10.2007 US 865508**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.07.2017**

73 Titular/es:

**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (100.0%)**  
**Huawei Administration Building, Bantian**  
**Longgang District, Shenzhen, Guangdong**  
**518129, CN**

72 Inventor/es:

**BAI, YUSHENG;**  
**ZHU, YANJUN;**  
**ZHANG, RONG;**  
**LIU, JIZHONG y**  
**DENG, JIAN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 626 075 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Método y aparato para la generación de señales duobinarias ópticas con sensibilidad del receptor y rendimiento espectral mejorados

5

## REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES DE PATENTE RELACIONADAS

La presente solicitud reivindica la prioridad para la Solicitud de patente provisional de los Estados Unidos número de serie 60/881,120, presentada con fecha 18 de enero de 2007 por Bai et. al y titulada "Método y aparato para la generación de señales duobinarias ópticas con sensibilidad del receptor y eficiencia espectral mejoradas" y para la solicitud de patente de los Estados Unidos número de serie 11865508, presentada con fecha 1 de octubre de 2007 por Bai et. al y titulada "Método y aparato para generar señales duobinarias ópticas con sensibilidad del receptor y eficiencia espectral mejoradas, que se incorporan aquí por referencia como si se reprodujeran en su integridad.

10

## 15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los sistemas de transmisión óptica constituyen la portadora básica para la mayor parte de los sistemas de telecomunicaciones. Numerosas tecnologías de transmisión óptica están basadas en el principio de la multiplexación por división de longitud de onda (WDM), en donde los canales de transmisión se transmiten mediante señales ópticas en diferentes longitudes de onda o diferentes bandas de longitudes de onda. Las señales ópticas se modulan inicialmente en el extremo transmisor de la red óptica, se propagan a través de la red por intermedio de un enlace óptico y luego, se detectan en el extremo receptor. La velocidad y la calidad de los sistemas de transmisión óptica, incluyendo los sistemas WDM, desempeñan una función importante en la definición de la velocidad y calidad globales de las redes de telecomunicaciones. Por lo tanto, la mejora de los sistemas de transmisión óptica ha sido un factor en el modelado y mejora de los servicios de telecomunicaciones en el ámbito mundial.

20

25

El rendimiento de sistema de transmisión puede caracterizarse por su eficiencia espectral y su sensibilidad del receptor. La eficiencia espectral puede definirse como la tasa de modulación de canal del sistema dividida por el espaciado de longitud de onda. A modo de ejemplo, un sistema con una tasa de modulación de 10 gigabits por segundo (Gbits/s) y un espaciado de canal de 50 gigaherzios (GHz) tiene una eficiencia espectral de 0.2 (20 por ciento). Una eficiencia espectral más alta refleja más capacidad de señales de transmisión dentro de un ancho de banda fijo. Por el contrario, la sensibilidad del receptor es una medida de la tolerancia de la señal al ruido, y se suele referir a la más baja potencia de señal en donde puede detectarse todavía una determinada tasa binaria de errores (BER) a modo de ejemplo  $10^{-9}$ . De forma tradicional, formatos de modulación, tales como de retorno a cero (RZ) y de no retorno a cero (NRZ) han sido aplicados en sistemas de transmisión óptica. Más recientemente, los sistemas de transmisión óptica han utilizado un formato de modulación duobinaria óptica (ODB), que tiene un espectro de transmisión más estrecho y en consecuencia, mayor eficiencia espectral y mayor tolerancia a la dispersión cromática. Estas características han hecho a la modulación de ODB más preferible que las modulaciones tradicionales tales como NRZ para 10 Gbits/s y sistemas de transmisión de más altas tasas binarias. Lamentablemente, los formatos de modulación ODB convencionales sufren de baja sensibilidad del receptor y por lo tanto, más altas tasas binarias de errores BERs.

30

35

40

El documento US 2002/171900 A1 da a conocer un método para generar una señal óptica de banda lateral única. En conformidad con el método, como señales de datos que tienen una diferencia de fase de 90 grados con respecto a las señales de datos de entrada, que son señales NRZ a 10 Gb/s, se generan señales de datos de retardo de 0.5 bits por un circuito de retardo de 0.5 bits para obtener un retardo correspondiente a  $\tau/2$  del período binario de la señal de datos de entrada. Una señal óptica SSB generada a partir de las señales de datos y las señales de datos de retardo de 0.5 bits se generan por intermedio de un filtro óptico. Además, para eliminar una componente modulada en intensidad residual, la señal óptica SSB generada se realimenta para ajustar adecuadamente la frecuencia central del filtro óptico. La frecuencia de salida de la portadora de un láser de semiconductores puede ajustarse en lugar de la frecuencia central del filtro óptico. Cuando una señal RZ se utiliza como una señal de datos de entrada, se utiliza un circuito de retardo de 0.25 bits.

45

50

El documento EP 1 271 808 A2 se refiere a la supresión a un mínimo de la degradación de la calidad de transmisión causada por una dispersión cromática característica de un soporte de transmisión óptica, y la interrelación entre la dispersión cromática y los efectos ópticos no lineales en sistemas de transporte WDM densos. Una señal de datos de entrada de banda base es precodificada por anticipado por una unidad de precodificación, la modulación en fase se realiza utilizando una señal precodificada por la señal de modulación en fase óptica y la señal óptica modulada en fase se convierte a una señal modulada en intensidad RZ por la unidad de filtro óptico que realiza una conversión de modulación por desplazamiento de fase a modulación por desplazamiento en amplitud; a modo de ejemplo, una unidad de modulación en fase óptica genera una señal modulada en fase DPSK codificada utilizando un formato de modulación por desplazamiento de fase diferencial (DSPK) y una señal modulada en fase se convierte en una señal modulada en intensidad RZ por la unidad de filtro óptico dispuesta en flujo descendente de la unidad de modulación por fase óptica.

55

60

65

Otro transmisor óptico para señales duobinarias ópticas se conoce a partir del documento WO-A-03067791.

SUMARIO DE LA INVENCION

5 En una forma de realización, la idea inventiva incluye un transmisor de red óptica que comprende un módulo de  
retardo de bits fraccionarios, una fuente de datos precodificados, configurado para enviar un primer flujo de datos  
binarios y un segundo flujo de datos binarios retardados de bits fraccionarios en flujo descendente hacia un  
modulador óptico por intermedio de dos rutas separadas, en donde un retardo de bits fraccionarios se introduce al  
segundo flujo de datos binarios retardados de bits fraccionarios por el módulo de retardo fraccionario, el modulador  
10 óptico acoplado al módulo de retardo de bits fraccionarios, configurado para recibir el primer flujo de datos binarios  
desde la fuente de datos precodificados (102) por intermedio de un primer brazo de control, y para recibir el segundo  
flujo de datos binarios retardados de bits fraccionarios por intermedio de un segundo brazo de control, para recibir  
una entrada óptica procedente de un láser (108), modular la entrada óptica utilizando el primer flujo de datos binarios  
y el segundo flujo de datos binarios retardado de bits fraccionarios, y para transmitir la señal duobinaria óptica  
15 modulada, ODB, de flujo descendente hacia un filtro óptico limitador de banda (110a), en donde el segundo flujo de  
datos binarios retardado de bits fraccionarios es complementario del primer flujo de datos binarios y el filtro óptico  
limitador de banda acoplado al modulador óptico, en donde el filtro óptico limitador de banda está configurado para  
mejorar una tolerancia a la dispersión cromática de una señal recibida y para sostener un espectro de banda limitada  
adecuado para el funcionamiento en un espacio de longitud de onda de banda limitada; en donde una frecuencia  
20 central de una señal emitida por el modulador óptico es aproximadamente la misma que una frecuencia central de  
una señal emitida por el filtro óptico.

En otra forma de realización, la idea inventiva incluye un método que comprende la generación de dos flujos de  
datos binarios complementarios, retardando uno de los flujos de datos binarios complementarios, en donde el flujo  
de datos binarios complementario retardado se retarda con respecto al flujo de datos binarios complementario no  
25 retardado en un retardo fraccionario; la modulación de una señal duobinaria óptica utilizando el flujo de datos  
binarios complementario no retardado y el flujo de datos binarios complementario retardado, el filtrado de la señal  
duobinaria óptica, en donde el filtro se utiliza para mejorar una tolerancia a la dispersión cromática de la señal  
duobinaria óptica, y el sostenimiento de un espectro de banda limitada adecuado para el funcionamiento en un  
espaciado de longitud de onda de banda limitada; en donde una frecuencia central de una señal duobinaria óptica  
30 modulada es aproximadamente la misma que una frecuencia central de la señal duobinaria óptica filtrada; y la  
transmisión de la señal duobinaria óptica filtrada que se transmite a un receptor.

Estas y otras características se entenderán con mayor claridad a partir de la descripción detallada siguiente tomada  
en conjunción con los dibujos adjuntos y las reivindicaciones.

35 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para un mejor entendimiento de esta idea inventiva, se hace ahora referencia a la siguiente breve descripción,  
tomada en relación con los dibujos adjuntos y la descripción detallada, en donde las referencias numéricas similares  
40 representan partes similares.

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema basado en ODB en conformidad con una forma de  
realización de la presente invención.

45 La Figura 3 es un trazado de una forma de realización de una señal ODB de retardo de bits fraccionarios;

La Figura 4 es un trazado de otra forma de realización de una señal ODB de retardo de bits fraccionarios;

50 La Figura 5 es un trazado de una forma de realización de una señal ODB retardada de bits fraccionarios de banda  
limitada;

La Figura 6 es un trazado de otra forma de realización de una señal ODB retardada de bits fraccionarios de banda  
limitada;

55 La Figura 7 es un trazado de otra forma de realización de una señal ODB retardada de bits fraccionarios de banda  
limitada;

La Figura 8 es un trazado de una forma de realización de señales moduladas NRZ.

60 La Figura 9 es un diagrama esquemático de un sistema informático de uso general a modo de ejemplo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

65 Debe entenderse, desde el principio, que aunque se da a conocer a continuación una puesta en práctica ilustrativa  
de una o más formas de realización, los sistemas y/o métodos dados a conocer pueden ponerse en práctica  
utilizando cualquier número de técnicas, actualmente conocidas o en existencia. La idea inventiva no debe estar

limitada, en forma alguna, a las formas de realización ilustrativas, dibujos y técnicas ilustradas a continuación, incluyendo los diseños y las puestas en práctica, a modo de ejemplo, ilustradas y descritas a continuación, sino que pueden modificarse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas junto con su gama completa de equivalentes.

5 A continuación se da a conocer una configuración de ODB para un sistema de transmisión óptica, que puede comprender un modulador óptico de doble control retardado de bits fraccionarios diferencial y filtros ópticos limitadores de banda en los extremos transmisor y receptor de la red óptica. Utilizando la configuración de ODB, dos flujos de datos binarios complementarios y precodificados pueden amplificarse individualmente mediante un par de amplificadores controladores adaptados. Los dos flujos de datos binarios pueden retardarse con respecto entre sí en un retardo fraccionario, que puede ser inferior a un bit. Los flujos de datos binarios retardados de bits fraccionarios resultantes pueden aplicarse luego al modulador óptico de doble control para generar señales ODB. Las señales pueden estar, además, con banda limitada en el transmisor mediante un prefiltrado antes de la transmisión y en el receptor mediante un post-filtrado después de la transmisión. La combinación del modulador óptico de doble control retardado de bits fraccionarios diferencial y los filtros ópticos limitadores de banda generan señales ODB que pueden tener una alta eficiencia espectral y una alta sensibilidad del receptor. La eficiencia espectral alta puede causarse por la característica limitadora de banda de los filtros ópticos. Las características limitadoras de bandas aquí descritas pueden tener una tolerancia a la dispersión cromática mejorada así como la capacidad para sostener un espectro de banda limitada adecuado para operaciones en el espaciado de longitud de onda de banda limitada, tal como un espaciado WDM denso (DWDM) de 50 GHz en 40 Gbits/s. La sensibilidad del receptor mejorada puede resultar del filtrado óptico limitador de banda así como de la ausencia de componentes de filtro de paso bajo (LPF) eléctricas, que se sustituyen por el mecanismo de retardo de bits fraccionarios diferencial. La ausencia de los componentes de LPF puede hacer también que la configuración de ODB sea más sencilla de poner en práctica.

La Figura 1 ilustra una forma de realización de un sistema 100 configurado para poner en práctica la modulación de ODB aquí descrita. El sistema 100 puede ser cualquier sistema de transmisión óptica que utiliza componentes activos o pasivos para transportar señales generadas ODB desde una fuente a un receptor. A modo de ejemplo, el sistema 100 puede comprender una fuente de codificados precodificados 102, dos amplificadores de señales de flujos de datos 112, un láser 108, un módulo de retardo fraccionario 106, un modulador de datos 104, al menos dos filtros ópticos 110a y 110b, una pluralidad de amplificadores ópticos 120, una fibra 114, un compensador de dispersión 116 y un receptor 118. En otras formas de realización, más o menos componentes pueden utilizarse como será evidente para los expertos en esta técnica. Las señales ODB generadas por la señal pueden ser señales de tres niveles que comprimen señales binarias de dos niveles convencionales en un ancho de banda más pequeño. Con el fin de generar señales ODB, uno de los dos flujos de datos binarios complementarios (indicados por el asterisco en la Figura 1) puede retardarse por el módulo de retardo fraccionario 106 y posteriormente, convertirse en señales eléctricamente controladas de tres niveles. Las señales eléctricamente controladas de tres niveles pueden convertirse luego en señales ópticas por el modulador de datos 104 y pueden transportarse, a continuación, al receptor 118 por intermedio de la fibra 114. El sistema puede funcionar a por lo menos 10 Gbits/s, quizás a aproximadamente 40 Gbits/s o aproximadamente 100 Gbits/s. El sistema 100 aquí descrito puede ser parte de una mayor red de comunicación y/o puede transportar datos entre dos redes separadas.

La fuente de datos precodificados 102 puede ser una componente del sistema 100. En una forma de realización, la fuente de datos precodificados 102 puede ser cualquier dispositivo que está configurado para recibir un flujo de datos, copiar el flujo de datos y proporcionar, a la salida, los flujos de datos originales y copiados. A modo de ejemplo, la fuente de datos precodificados 102 puede enviar un flujo de datos binarios y un flujo de datos binarios complementario en flujo descendente hacia el modulador de datos 104 por intermedio de dos rutas separadas. La fuente de datos precodificados 102 puede conectarse también por intermedio de una o una pluralidad de rutas adicionales a una o una pluralidad de redes externas, tal como una red inalámbrica, Ethernet o redes SONET/SDH.

Los amplificadores de señales de flujos de datos 112 pueden ser cualesquiera dispositivos configurados para amplificar los flujos de datos binarios complementarios, que pueden atenuarse a medida que se desplazan desde la fuente de datos binarios precodificados 102 al modulador de datos 104 por intermedio de dos rutas separadas. En una forma de realización, los dos amplificadores de señales de flujo de datos 112 pueden ser circuitos basados en una pre-amplificación y otro tipo de circuitos electrónicos conocido para los expertos en esta técnica. En otras formas de realización, el sistema 100 puede comprender más de dos amplificadores de señales de flujos de datos 112 con el fin de mantener la intensidad de señal de flujo de datos adecuada para el funcionamiento del modulador de datos 104.

Otro componente del sistema 100 puede ser el módulo de retardo fraccionario 106. El módulo de retardo fraccionario 106 puede ser cualquier dispositivo que esté configurado para introducir un retardo de bits fraccionarios en uno de los flujos de datos binarios complementarios que se envían desde la fuente de datos precodificados 102. En formas de realización, el módulo de retardo fraccionario puede introducir un retardo de aproximadamente 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3 o 0.2 bits por segundo (bit/s) al flujo de datos binarios complementarios retardados. El módulo de retardo fraccionario 104 puede introducir también un retardo de bits fraccionarios variable al flujo de datos binarios complementarios que puede decidirse por el operador dentro de un determinado margen, a modo de ejemplo, desde aproximadamente 0.3 bit/s a aproximadamente 0.8 bit/s. El flujo de datos binarios complementarios retardados de bits fraccionarios puede enviarse luego a un brazo de control en el modulador de datos 104. El módulo de retardo

fraccionario 106 puede eliminar la necesidad de un filtro de paso bajo eléctrico (LPF) en el sistema 100, con lo que el sistema no puede contener un filtro de LPF, tal como los adecuados para la modulación de alta tasa de datos. La ausencia de una pérdida de inserción baja y un filtro de LPF pueden hacer que el sistema 100 sea más sencillo de poner en práctica, en algunas formas de realización.

5 El láser 108 puede ser otro componente del sistema 100. El láser 108 puede ser cualquier dispositivo configurado para proporcionar entrada de luz al modulador de datos 104. El láser 108 puede ser un láser de realimentación distribuida (DFB) que puede comprender un diodo de láser situado en una zona ópticamente activa estructurada como una rejilla de difracción. El láser 108 puede ser un láser de ancho de banda estrecha fija que emite luz a una frecuencia central fija. El láser 108 puede ser también un láser sintonizable con una gama de frecuencias variables que pueden seleccionarse por el operador.

15 El modulador de datos 104 puede ser otro componente del sistema 100. El modulador de datos 104 puede ser cualquier dispositivo óptico que esté configurado para transmitir señales ópticas moduladas sobre la base de flujos de datos de control premodulados. En una forma de realización, el modulador puede ser un modulador interferómetro de Mach-Zehnder (MZ) de doble control, en donde el modulador MZ puede conectarse a la fuente de datos precodificados 102 mediante dos brazos de control separados que tiene cada uno una ruta separada. El modulador de datos 104 puede recibir un primer flujo de datos binarios procedente de la fuente de datos precodificados 102 por intermedio de un primer brazo de control, y un segundo flujo de datos binarios retardado de bits fraccionarios, que es complementario del primer flujo de datos binarios, por intermedio de un segundo brazo de control. El modulador de datos 104 puede recibir una entrada óptica procedente del láser 108, modular la entrada lógica utilizando los flujos de datos binarios complementarios retardados original y de bits fraccionarios y transmitir la señal ODB modulada en flujo descendente hacia el filtro óptico 110a. En una forma de realización, el modulador de datos 104 puede ser un modulador MZ de guía de ondas óptico. En otra forma de realización, el modulador de datos 20 104 puede ser un interferómetro MZ opto-mecánico.

Los filtros ópticos 110a y 110b pueden ser dos componentes adicionales del sistema 100. El primer filtro óptico 110a puede ser un filtro de transmisor (Tx) que está situado entre el modulador de datos 104 y la fibra 114. El filtro óptico 110a puede ser un filtro óptico limitador de banda que limita la banda espectral de la señal ODB modulada procedente del modulador de datos 104. En una forma de realización, el ancho de banda del filtro óptico debe ser desde aproximadamente un 70 por ciento a aproximadamente un 80 por ciento de la tasa de datos. En una forma de realización, el filtro óptico 110a puede ser un intercalador óptico que comprende una fibra pasiva de tres puertos que se utiliza para combinar dos canales de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) en un flujo de señal compuesto en una manera intercalada sobre la base de una interferencia de múltiples haces. A modo de ejemplo, el intercalador óptico puede tomar dos señales multiplexadas con un espaciamiento de 100 GHz e intercalarlas, con lo que se crea una señal DWDM más densa con canales espaciados con 50 GHz de separación. El proceso puede repetirse, creando señales compuestas incluso más densas con un espaciamiento de 25 GHz o 12.5 GHz disponiendo en cascada una pluralidad de intercaladores. A modo de ejemplo, en la mayoría de los equipos DWDM con espaciado de canal estándar de 100 GHz, pueden soportarse cuarenta canales mediante el espaciado de las frecuencias de transporte de señal cada 2.5 GHz. De modo similar, el segundo filtro óptico 110b puede ser un filtro de receptor (Rx) que está situado entre la fibra 114 y el receptor 118 en el sistema 100. En una forma de realización, el filtro óptico 110a y el filtro óptico 110b pueden ser intercaladores ópticos basados en interferómetros de Michelson de fase escalonada. En otra forma de realización, el filtro óptico 110a y el filtro óptico 110b pueden ser intercaladores ópticos basados en redes de cristales birrefringentes. El filtro óptico 110a y el filtro óptico 110b pueden ser también filtros escalonados, tales como interferómetros de Fabry-Perot en la forma de vidrio óptico recubierto con película delgada. El filtro óptico 110b puede ser prácticamente idéntico al filtro óptico 110a con características de transmisión espectral similares. Como alternativa, el filtro óptico 110b puede ser también un tipo diferente de filtro que el filtro óptico 110a y puede tener diferentes características de transmisión espectral.

50 Los amplificadores ópticos 120 pueden ser cualesquiera dispositivos ópticos que amplifican la señal ODB como siendo transportada desde el modulador de datos 104 al receptor 118. Aunque cuatro amplificadores ópticos 120 se ilustran en la Figura 1, el sistema 100 puede comprender cualquier número de amplificadores ópticos 120. Más concretamente, los amplificadores ópticos 120 pueden situarse entre el filtro óptico 110a, la fibra 114, el compensador de dispersión 116, el filtro óptico 110b y el receptor 118, con el fin de compensar las pérdidas de inserción de estos componentes. En una forma de realización, los amplificadores ópticos 120 pueden ser un amplificador de fibra dopada con erbio, que puede amplificar la luz en zona de 1550 nm cuando se bombea por una fuente de luz externa. En otra forma de realización, los amplificadores ópticos 120 pueden ser amplificadores ópticos de Raman. Los amplificadores ópticos 120 pueden ser también una combinación de diferentes tipos de amplificadores ópticos.

60 El componente de fibra 114 puede ser un cable de fibra óptica que conecta el modulador de datos 104 en el extremo de transmisión al receptor 118 en el extremo del receptor. En una forma de realización, la fibra 114 puede ser una fibra de modo único, tal como una fibra de modo único G.652 (SMF), que se utiliza para transportar, en flujo descendente, la señal ODB modulada. En otra forma de realización, la fibra 114 puede comprender múltiples fibras ópticas combinadas para formar una ruta óptica entre el extremo de transmisor al extremo del receptor del sistema 100. La fibra 114 puede estar constituida también por múltiples fibras ópticas concatenadas en secuencia utilizando

acopladores ópticos a lo largo de la ruta óptica entre el modulador de datos 104 y el receptor 118.

En una forma de realización, el compensador de dispersión 116 puede ser una fibra con gran dispersión negativa utilizada para reducir o eliminar los efectos de la dispersión en la señal ODB modulada, que son causados por la propagación de la señal a través de la fibra 114. La fibra de dispersión negativa puede tener una dispersión opuesta a la inducida por la fibra 114, que agudiza la pulsación de la señal ODB de modo que pueda decodificarse correctamente por el receptor 118. Más concretamente, la fibra de compensación de la dispersión puede tener una dispersión negativa en el margen de aproximadamente -80 picosegundos por nanómetro-kilómetro (ps/nm·km). A modo de ejemplo, una fibra de compensación de dispersión de 20 km de longitud puede compensar la dispersión en una longitud de 100 km de fibra de modo único. En otra forma de realización, el compensador de dispersión 116 puede ser una rejilla Bragg de fibra (FBG).

El receptor 118 puede ser otro componente del sistema 100. El receptor 118 puede ser cualquier dispositivo, conocido por los expertos en esta técnica, configurado para convertir la señal ODB modulada en una señal eléctrica que pueda decodificarse en el flujo de datos binarios transmitidos inicialmente. En una forma de realización, el receptor 118 puede comprender un detector óptico y circuitos electrónicos de procesamiento de señales. En una forma de realización, el receptor 118 puede contener un transmisor prácticamente según aquí se describe con el fin de facilitar la comunicación bidireccional en el sistema 100.

Existen varias alternativas a la arquitectura ilustrada en la Figura 1. A modo de ejemplo, el módulo de retardo fraccionario 106 puede situarse antes de los amplificadores de señales de flujos de datos 112. Como alternativa, el sistema ODB 100 puede estar basado en un amplificador diferencial en lugar de un par de amplificadores de señales de flujos de datos adaptados 112. El amplificador diferencial de señales de flujos de datos puede ser cualquier amplificador electrónico configurado para multiplicar la diferencia entre dos entradas por un factor de ganancia diferencial. A modo de ejemplo, el único amplificador diferencial puede recibir dos flujos de datos complementarios con un retardo de cero bits desde dos puertos de entrada y transmitir un flujo de datos retardado de bits fraccionarios, con se modula luego por un modulador MZ de control único. El retardo de bits fraccionarios puede determinarse por el factor de ganancia diferencial que se selecciona por el operador.

Las Figuras 2A y 2B ilustran dos formas de realización de diagramas oculares obtenidos de la simulación de señales ODB de 40 Gbits/s utilizando dos intercaladores ópticos dispuestos en cascada con un ancho de banda global de aproximadamente 30 GHz o aproximadamente un 70 por ciento de la tasa de datos. Más concretamente, la Figura 2A corresponde a una señal ODB retardada de un bit 202 y la Figura 2B corresponde a una señal ODB retardada de 0.7 bits 204. El diagrama ocular puede reflejar el patrón de señal ODB, en donde un modelo ocular relativamente abierto corresponde a una interferencia intersímbolos (ISI) de la señal mínima y ruido, mientras que un modelo ocular relativamente cerrado corresponde a una alta interferencia ISI y ruido. Más concretamente, la apertura ocular o altura entre máximos es una medida del ruido aditivo en la señal, mientras que la relación de sobreimpulso/subimpulso ocular es una medida de la ISI máxima. La interferencia ISI puede ser una forma de distorsión de la señal ODB debida a la compresión de señales binarias de dos niveles en un ancho de banda más pequeño. Además, un modelo ocular relativamente abierto representa una alta sensibilidad del receptor, mientras que un modelo ocular relativamente cerrado representa una baja sensibilidad del receptor. Ambos diagramas oculares demuestran las mejoras en la sensibilidad del receptor y la eficiencia espectral con respecto a las modulaciones tradicionales, tal como NRZ. La más pequeña apertura ocular de la Figura 2A puede reflejar también una señal ODB retardada de un bit 202 que es menos resistente a un filtrado óptico estrecho, en términos de mejora de la sensibilidad del receptor y en la eficiencia espectral, que la señal ODB retardada de 0.7 bits. Según se ilustra en la Figura 2B, la señal ODB retardada de 0.7 bits tiene una mayor apertura ocular que la señal ODB retardada de un bit, y por lo tanto, corresponde a una más alta sensibilidad del receptor y mejor eficiencia espectral. Más concretamente, el retardo de 0.7 bits refleja el retardo diferencial óptimo a una eficiencia espectral del 80 por ciento aproximadamente a una tasa de transmisión DWDM de 40 Gbits/s y un espaciado de canales de 50 GHz.

La Figura 3 ilustra una forma de realización 300 de la relación de señal a ruido óptica (OSNR) vs. dispersión para la señal ODB retardada de un bit y la señal ODB retardada de 0.7 bits simuladas en la forma anteriormente descrita, pero con una tasa de modulación de 43 Gbits/s en lugar de 40 Gbits/s y un ancho de banda de filtro óptico de 30 GHz. La relación OSNR puede ser una medida alternativa a la relación BER para medir la sensibilidad del receptor de un sistema de transmisión óptico y puede representar la relación de una potencia de señal a la potencia de ruido que produce la corrupción de la señal. Como alternativa, la relación OSNR puede comparar el nivel de una señal óptica deseada al nivel de un ruido de fondo no deseado de modo que una alta relación OSNR corresponde a un ruido de fondo menos obstrusivo. La relación OSNR puede medirse en decibelios (dB), que es una unidad logarítmica de medida que expresa la magnitud de la potencia óptica relativa a un nivel de referencia especificado o implícito. La relación OSNR de la señal ODB retardada de un bit 302 en una relación BER de  $10^{-3}$  indica la existencia de una penalización de cierre ocular de más de un dB en comparación con la señal ODB retardada de 0.7 bits 304. Esta penalización aumenta todavía más con un incremento en la dispersión óptica de la señal ODB en la fibra. En consecuencia, una señal ODB 304 modulada con un retardo de 0.7 bits en lugar de un retardo de un bit puede ser conveniente en términos de mejora de la tolerancia a la dispersión cromática.

La Figura 4 representa otra forma de realización de la relación OSNR 400 para una señal ODB de retardo de bits

fraccionarios a 43 Gbits/s. Más concretamente, los valores de la relación OSNR para la señal ODB retardada de 0.7 bits se simulan a través de una gama de varios anchos de banda ópticos bajo las mismas condiciones del sistema óptico anteriormente descritas. Los diversos anchos de banda ópticos aquí considerados pueden representar varios filtros ópticos desde 20 GHz a 80 GHz. La curva de la relación OSNR generada en la Figura 4 comprende un mínimo en la relación OSNR que coincide con un filtro óptico con un ancho de banda de 30 GHz en los extremos transmisor y receptor del sistema. El mínimo en la relación OSNR puede representar un ancho de banda de filtro óptico preferido de aproximadamente 30 GHz para la señal ODB retardada de 0.7 bits, lo que requiere una relación OSNR mínima correspondiente a  $10^3$  BER.

La Figura 5 ilustra una forma de realización 500 de una comparación entre una señal ODB retardada de bits fraccionarios de banda limitada o de banda no limitada. En la ausencia de un filtro óptico de banda limitada, el espectro de una señal ODB retardada de bits fraccionarios puede ser demasiado amplio para funcionar con un espaciado de canal estrecho (p.ej., 50 GHz) con un rendimiento de transmisión óptica satisfactorio. Más concretamente, el ancho de banda de una señal ODB 502 de tasa de datos 40 Gbits/s sin ancho de banda limitado con un retardo de 0.7 bits que corresponde a una intensidad de señal de 20 dB puede reducirse a la mitad del tamaño cuando un filtro óptico con ancho de banda de 30 GHz se añade al sistema. En la presencia del filtro óptico de 30 GHz, la señal ODB de banda limitada 504 con un retardo de 0.7 bits puede tener un ancho de banda espectral reducido y en consecuencia, propagarse a más largas distancias por intermedio de la fibra óptica antes de someterse a una dispersión óptica considerable. El ancho de banda espectral más estrecho de la señal ODB de banda limitada 504 le hace más tolerante a la dispersión óptica, y de este modo, la señal ODB de banda limitada 504 puede sufrir una distorsión pequeña o despreciable a través de distancias de transmisión más largas.

La Figura 6 ilustra otra forma de realización 600 de una comparación entre una señal ODB retardada de bits fraccionarios de banda limitada y de banda no limitada. En la Figura 6, se ilustran tres canales ODB adyacentes con un espaciado de canal de 50 GHz en una tasa de datos de 40 Gbits/s y un retardo de 0.7 bits. La primera señal ODB 602 está simulada con la ausencia de un filtro óptico limitador de banda y la segunda señal ODB 604 está simulada con la presencia de un filtro óptico de 30 GHz. En el caso de la señal ODB 604, una mejora del orden de magnitud de 9 dB puede conseguirse en la denominada diafonía entre los canales ODB adyacentes. Sin la presencia del filtro óptico limitador de banda de 30 GHz, la señal ODB retardada de 0.7 bits 602 puede no funcionar con un rendimiento adecuado en un espaciado de 50 GHz debido a importantes niveles de diafonía coherente entre canales próximos. Por lo tanto, un filtro óptico limitador de banda en el transmisor y el receptor puede utilizarse para sistemas ODB de 40 Gbits/s con un espaciado de canal de 50 GHz.

La Figura 7 ilustra una forma de realización 700 del comportamiento de la relación BER vs. OSNR de una señal ODB retardada de bits fraccionarios. El comportamiento de la relación BER vs. OSNR se ilustra en la Figura 7 para una señal ODB retardada de 0.7 bits 702 en la ausencia de limitación de banda, con un ancho de banda de filtro óptico del receptor de 80 GHz, así como para una señal ODB de banda limitada retardada en 0.7 bits 704 con un ancho de banda efectivo global de 30 GHz. Ambas señales ODB 702 y 704 se simulan a una tasa de datos de 43 Gbits/s. En el caso de la señal ODB de banda limitada retardada en 0.7 bits 704, una relación OSNR de 14.8 dB puede requerirse para una relación de BER de  $10^{-3}$ . Por el contrario, una relación OSNR de 19 dB puede requerirse para una relación BER igual en el caso de la señal ODB retardada en 0,7 bits 702 de ancho de banda más amplio. La reducción en la relación OSNR requerida puede ventajosa, además de las anteriormente descritas, para la limitación de banda de las señales ODB retardadas de bits fraccionarios.

La Figura 8 ilustra una forma de realización 800 del comportamiento de la relación BER vs. OSNR de señales moduladas NRZ. El comportamiento de la relación BER vs. OSNR se ilustra en la Figura 8 para una primera señal modulada NRZ 802 en la ausencia de limitación de banda del transmisor y con un ancho de banda de filtro óptico del receptor de 80 GHz, que es aproximadamente óptima para esta señal. Una segunda señal modulada NRZ 804 con limitación del ancho de banda en el transmisor y el receptor y un ancho de banda efectivo global de 30 GHz se ilustra también en esta Figura. En el caso de la primera señal modulada NRZ 802, una relación OSNR de 16.5 dB puede requerirse para una relación de BER  $10^{-3}$ . Por otro lado, una relación OSNR de 19 dB puede requerirse para una relación BER igual en el caso de la segunda señal modulada NRZ de banda limitada 804. A diferencia de las señales ODB retardadas de bits fraccionarios, la señal modulada NRZ con el más amplio ancho de banda puede ser más óptima. En cualquier caso, la señal ODB retardada en 0.7 bits con una limitación de banda global de 30 GHz puede requerir una relación OSNR de 14.8 dB (según se ilustra en la Figura 7) y de este modo, puede seleccionarse como el formato de modulación preferido del sistema de transmisión óptica. El rendimiento de dicha señal ODB puede mejorarse, en gran medida, con respecto a la de una señal modulada NRZ debido a requisitos de relación OSNR considerablemente más bajos. En la ausencia de pre-filtrado del transmisor y en la ausencia de post-filtrado de banda estrecha, las relaciones OSNRs más preferidas pueden ser las mismas o peores que las de las señales moduladas NRZ.

La red descrita anteriormente puede ponerse en práctica en cualquier componente de red de uso general, tal como un componente de ordenador o de red con suficiente potencia de procesamiento, recursos de memoria y capacidad de rendimiento de red para gestionar la carga de trabajo necesaria que le está asignada. La Figura 9 ilustra un componente de red de uso general típico adecuado para poner en práctica una o más formas de realización de un nodo aquí dado a conocer. El componente de red 900 incluye un procesador 902 (que puede referirse como una

unidad central de procesador o CPU) que está en comunicación con dispositivos de memoria que incluyen memoria secundaria 904, memoria de solamente lectura (ROM) 906, memoria de acceso aleatorio (RAM) 908, dispositivos de entrada/salida (I/O) 910 y dispositivos de conectividad de red 912. El procesador puede ponerse en práctica como uno o más circuitos integrados de unidad CPU o puede ser parte de uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASICs).

La memoria secundaria 904 está constituida normalmente por una o más unidades de disco o unidades de cinta y se utiliza para almacenamiento no volátil de datos y como un dispositivo de almacenamiento de datos de sobreflujo si la memoria RAM 908 no tiene capacidad suficiente para mantener todos los datos de servicio. La memoria secundaria 904 puede utilizarse para memorizar programas que se cargan en la memoria RAM 908 cuando dichos programas se seleccionan para su ejecución. La memoria ROM 906 se utiliza para memorizar instrucciones y probablemente, datos que sean objeto de lectura durante la ejecución del programa. La memoria ROM 906 es un dispositivo de memoria no volátil que suele tener una pequeña capacidad de memoria relativa a la mayor capacidad de memoria de la memoria secundaria. La memoria RAM 908 se utiliza para memorizar datos volátiles y probablemente, para memorizar instrucciones. El acceso a ambas memorias ROM 906 y RAM 908 suele ser más rápido que a la memoria secundaria 904.

Aunque varias formas de realización han sido dadas a conocer en la presente idea inventiva, debe entenderse que los sistemas y métodos dados a conocer podrían materializarse en numerosas otras formas específicas sin desviarse por ello del alcance de la presente invención. Los presentes ejemplos han de considerarse como ilustrativos y no restrictivos, y la intención no ha de limitarse a los detalles aquí proporcionados. A modo de ejemplo, los diversos elementos o componentes pueden combinarse o integrarse en otro sistema o pueden omitirse algunas características, o no ponerse en práctica.

Además, las técnicas, los sistemas, los subsistemas y los métodos descritos e ilustrados en las diversas formas de realización, como discretos o separados, pueden combinarse o integrarse con otros sistemas, módulos, técnicas o métodos sin desviarse por ello del alcance de la presente invención. Otros elementos ilustrados o descritos como acoplados o directamente acoplados o en comunicación entre sí pueden estar indirectamente acoplados o en comunicación por intermedio de alguna interfaz, dispositivo o componente intermedio de forma eléctrica, mecánica o de cualquier otro modo. Otros ejemplos de cambios, sustituciones y alteraciones son determinables por un experto en esta técnica y podrían realizarse sin desviarse por ello del alcance de la presente idea inventiva.



**REIVINDICACIONES**

1. Un transmisor de red óptica para señales duobinarias ópticas que comprende:

5 un módulo de retardo de bits fraccionarios (106);

una fuente de datos precodificados (102), configurada para enviar un primer flujo de datos binarios y un segundo flujo de datos binarios retardado de bits fraccionarios en flujo descendente hacia un modulador óptico (104) por intermedio de dos rutas separadas, en donde un retardo de bits fraccionarios se introduce en el segundo flujo de datos binarios retardado de bits fraccionarios por el módulo de retardo fraccionario (106);

el modulador óptico (104), acoplado al módulo de retardo de bits fraccionarios (106), configurado para recibir el primer flujo de datos binarios desde la fuente de datos precodificados (102) por intermedio de un primer brazo de control, y para recibir el segundo flujo de datos binarios retardado de bits fraccionarios por intermedio de un segundo brazo de control, para recibir una entrada óptica procedente de un láser (108), para modular la entrada óptica utilizando el primer flujo de datos binarios y el segundo flujo de datos binarios retardado de bits fraccionarios, y para transmitir la señal duobinaria óptica modulada, ODB, de flujo descendente hacia un filtro óptico limitador de banda (110a); en donde el segundo flujo de datos binarios retardado de bits fraccionarios es complementario del primer flujo de datos binarios;

y

el filtro óptico limitador de banda (110a) acoplado al modulador óptico (104), en donde el filtro óptico limitador de banda (110a) está configurado para mejorar una tolerancia a dispersión cromática de una señal recibida, y para sostener un espectro de banda limitada adecuado para un funcionamiento en un espaciado de longitud de onda de banda limitada;

en donde una frecuencia central de una señal emitida por el modulador óptico (104) es aproximadamente la misma que una frecuencia central de una señal emitida por el filtro óptico (110a).

2. El transmisor según la reivindicación 1, en donde el módulo de retardo de bits fraccionarios (106) está situado en solamente una de las rutas y está configurado para retardar una señal en aproximadamente 0.7 bits.

3. El transmisor según la reivindicación 1 o 2, en donde el módulo de retardo de bits fraccionarios (106) comprende un circuito de retardo y dos amplificadores, en donde el modulador óptico (104) es un modulador óptico de doble control.

4. El transmisor según una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende, además: un láser de realimentación distribuida acoplado al modulador óptico (104), en donde el láser de realimentación distribuida está configurado para transmitir una señal duobinaria óptica a aproximadamente 40 Gbits/s o aproximadamente 100 Gbits/s.

5. El transmisor según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el transmisor está en comunicación con un receptor que comprende un segundo filtro óptico limitador de banda (110b).

6. El transmisor según una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el filtro óptico limitador de banda (110a) es un filtro escalonado o una pluralidad de intercaladores ópticos dispuestos en cascada.

7. El transmisor según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la red de transporte óptico no comprende un filtro de paso bajo.

8. Un método que comprende:

generar dos flujos de datos binarios complementarios,

retardar uno de los flujos de datos binarios complementarios, en donde el flujo de datos binarios complementarios retardado tiene un retardo respecto al flujo de datos binarios complementario no retardado en un retardo fraccionario;

modular una señal duobinaria óptica utilizando el flujo de datos binarios complementarios no retardado y el flujo de datos binarios complementarios retardado;

filtrar la señal duobinaria óptica utilizando un filtro (110a), en donde el filtro (110a) se utiliza para mejorar una tolerancia a la dispersión cromática de la señal duobinaria óptica y sostener un espectro de banda limitada adecuado para su funcionamiento en un espaciado de longitud de onda de banda limitada;

en donde una frecuencia central de la señal duobinaria óptica modulada es aproximadamente la misma que una

frecuencia central de la señal duobinaria óptica filtrada; y

transmitir la señal duobinaria óptica filtrada a un receptor (118).

- 5 **9.** El método según la reivindicación 8, en donde el flujo de datos binarios complementarios retardado se retarda en menos de un bit.
- 10.** El método según la reivindicación 8 o 9, en donde el flujo de datos binarios complementarios retardado se retarda en aproximadamente 0.7 bits.

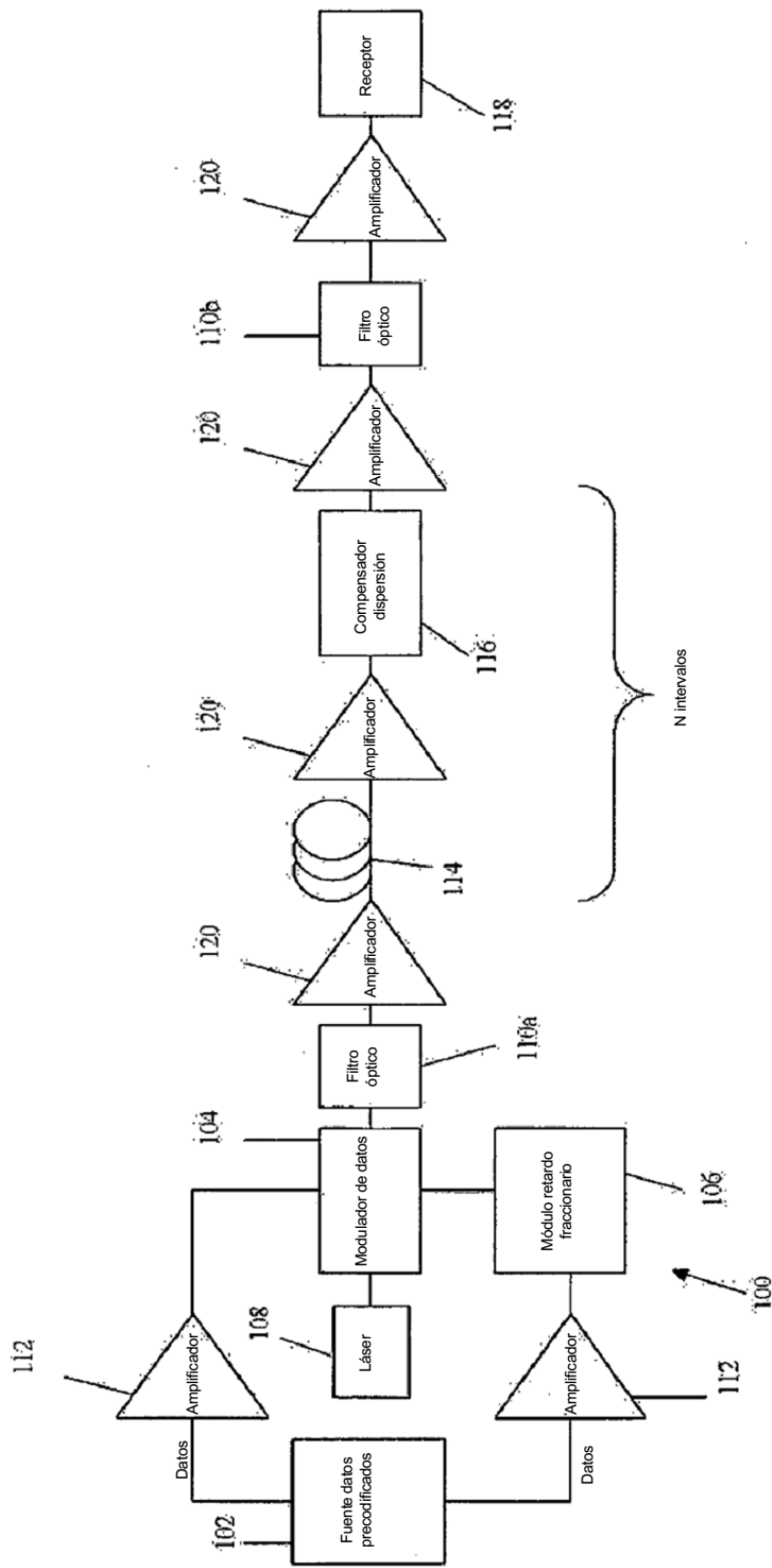


FIG. 1

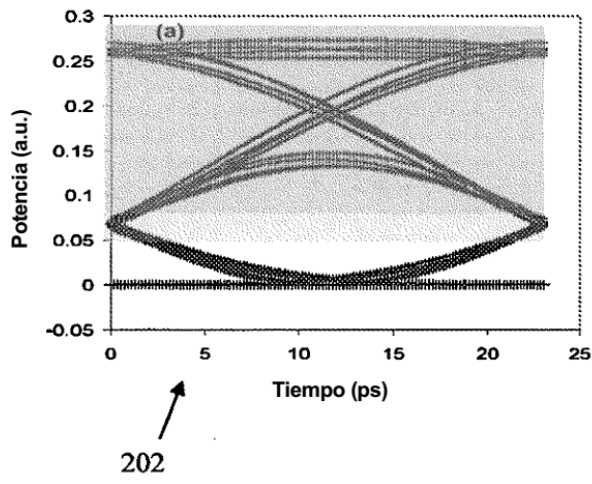


FIG. 2A

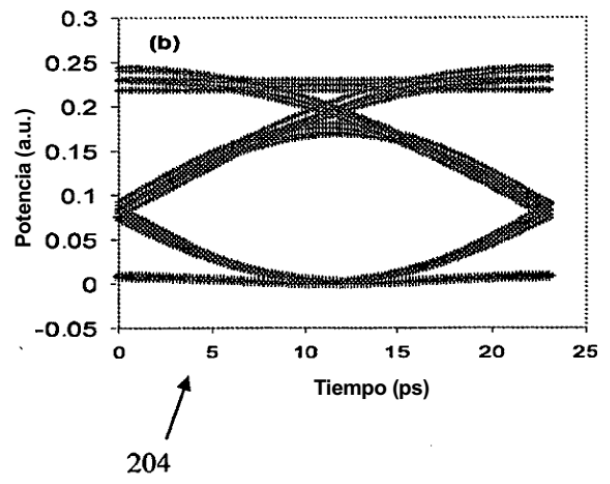
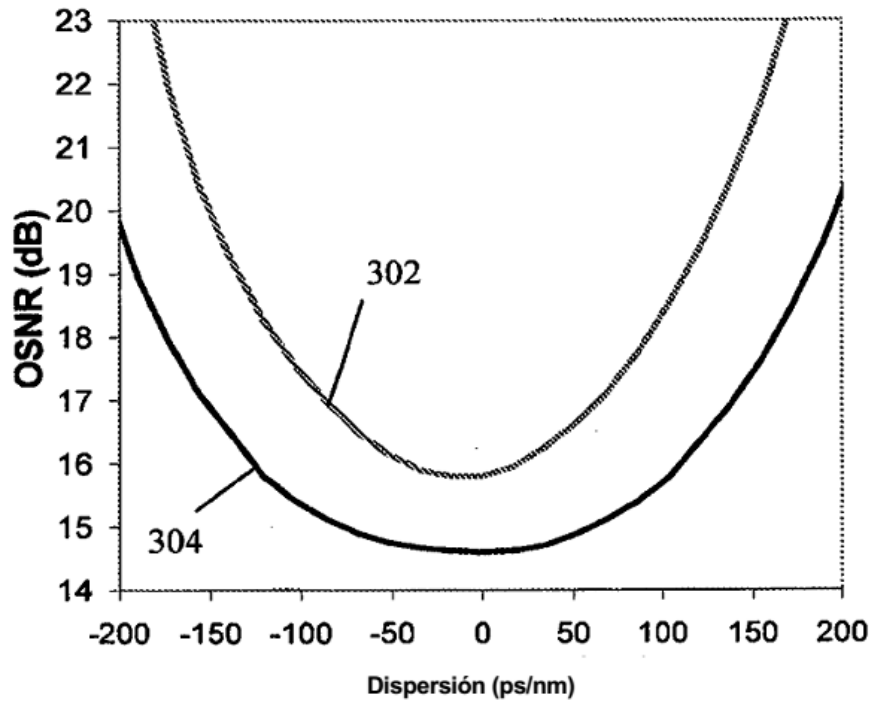
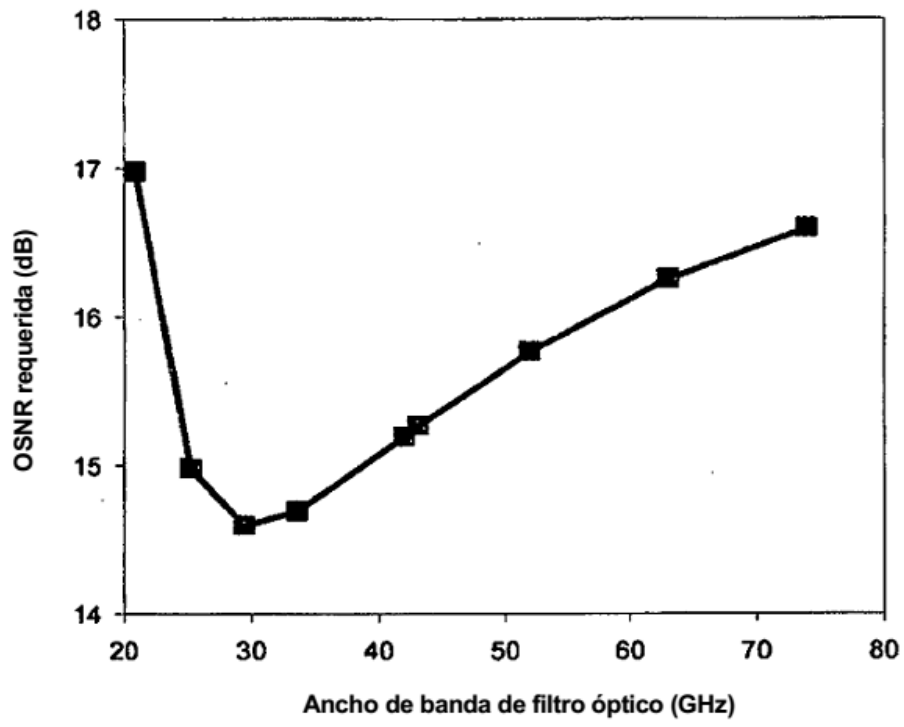


FIG. 2B



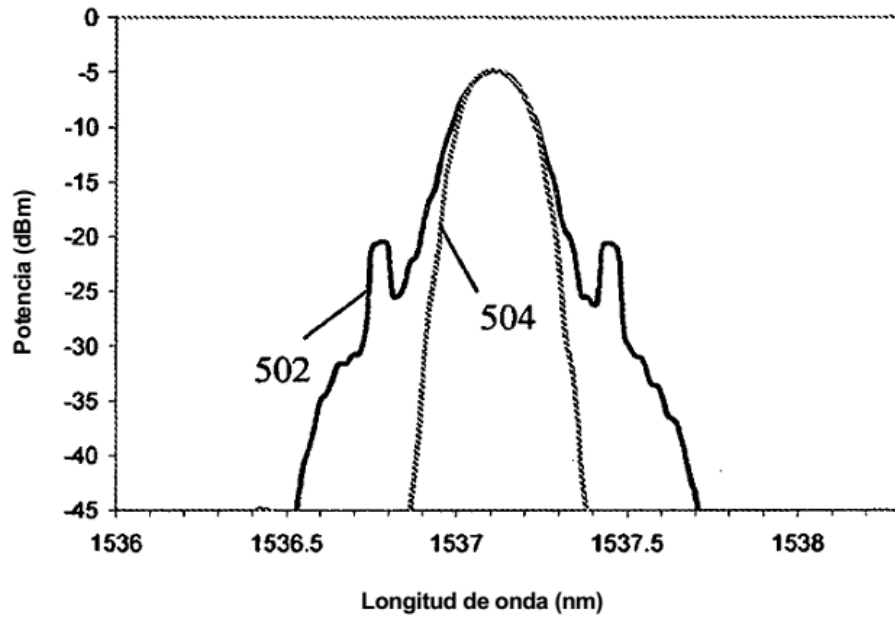
300 ↗

FIG. 3



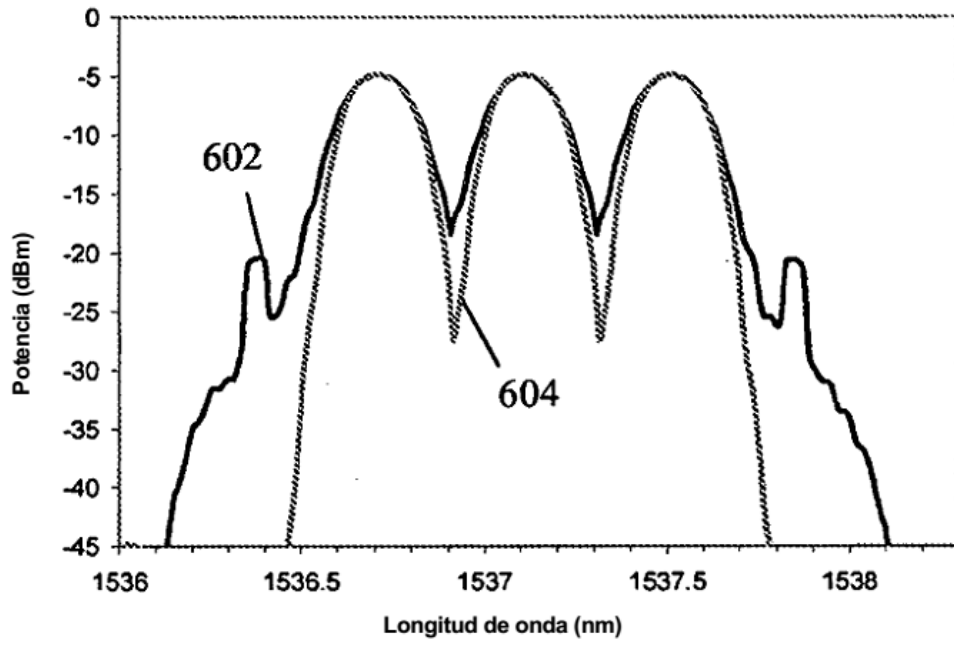
400 ↗

FIG. 4



500

FIG. 5



600 ↗

FIG. 6



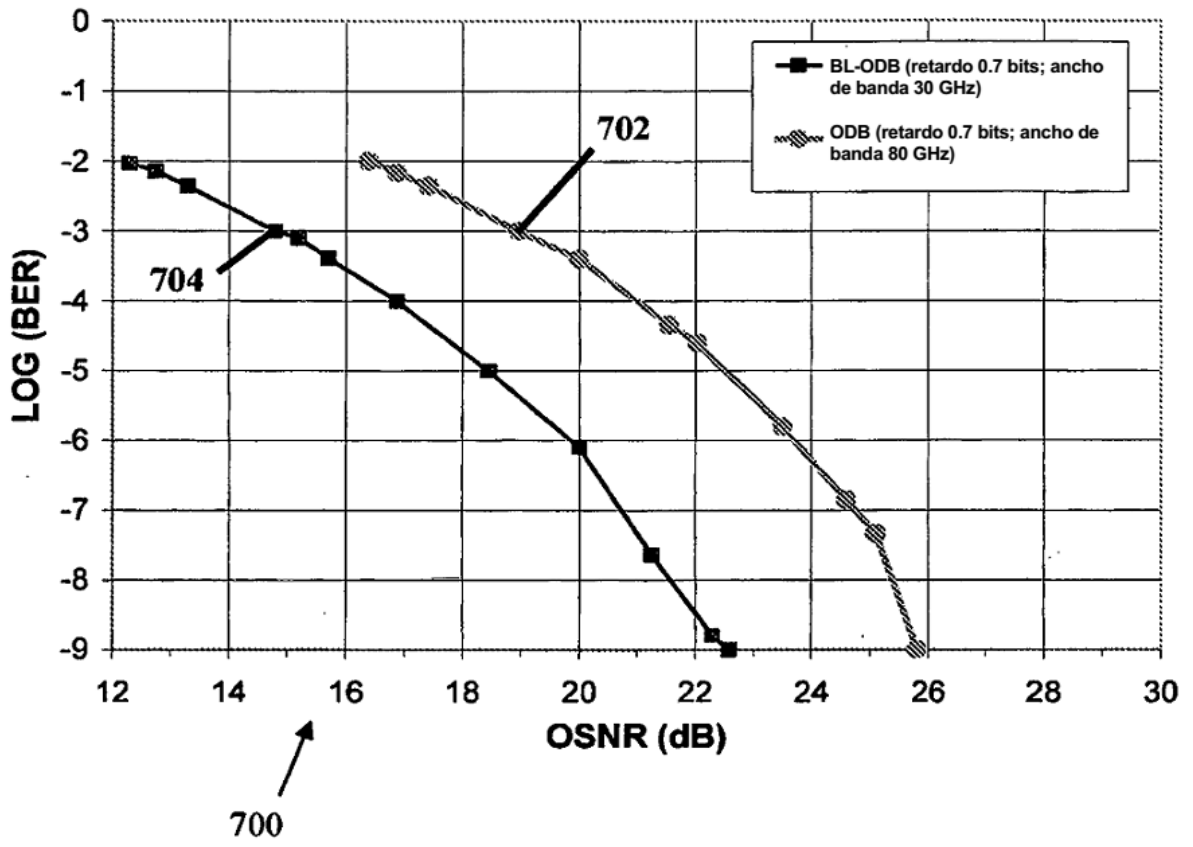


FIG. 7

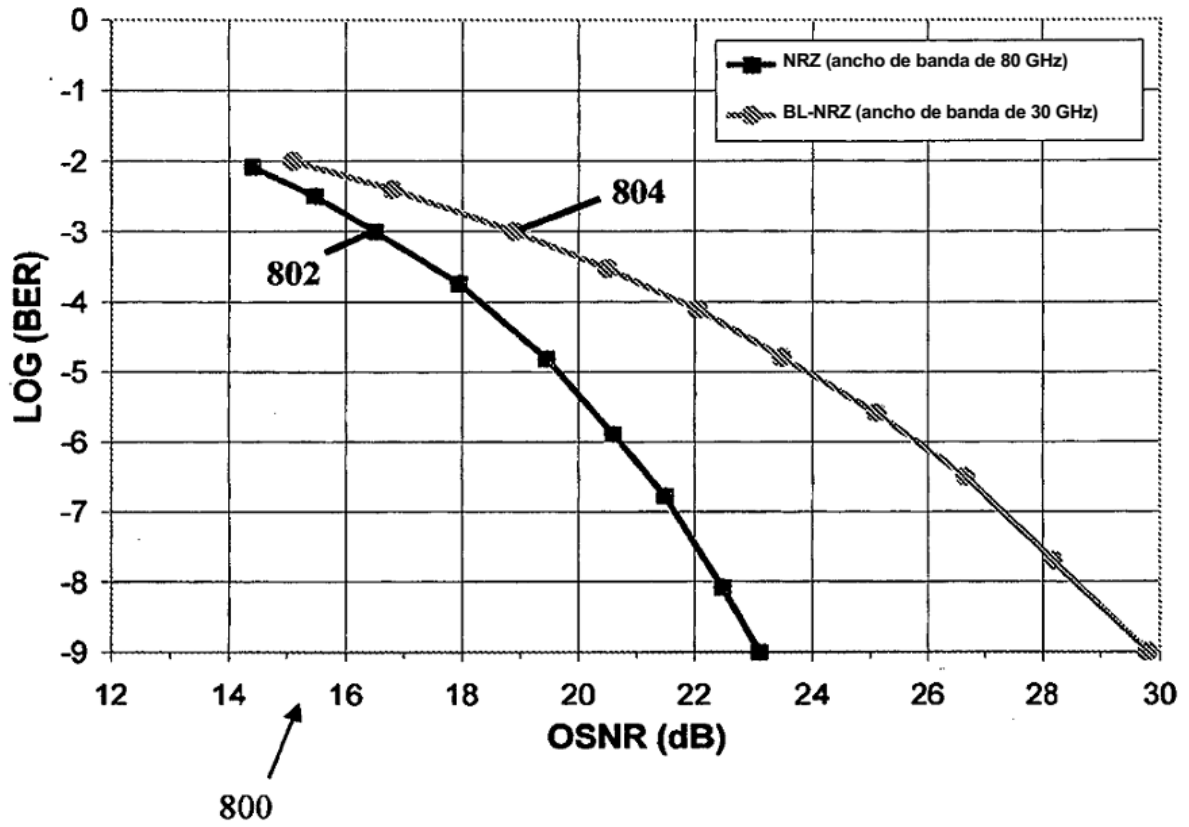


FIG. 8

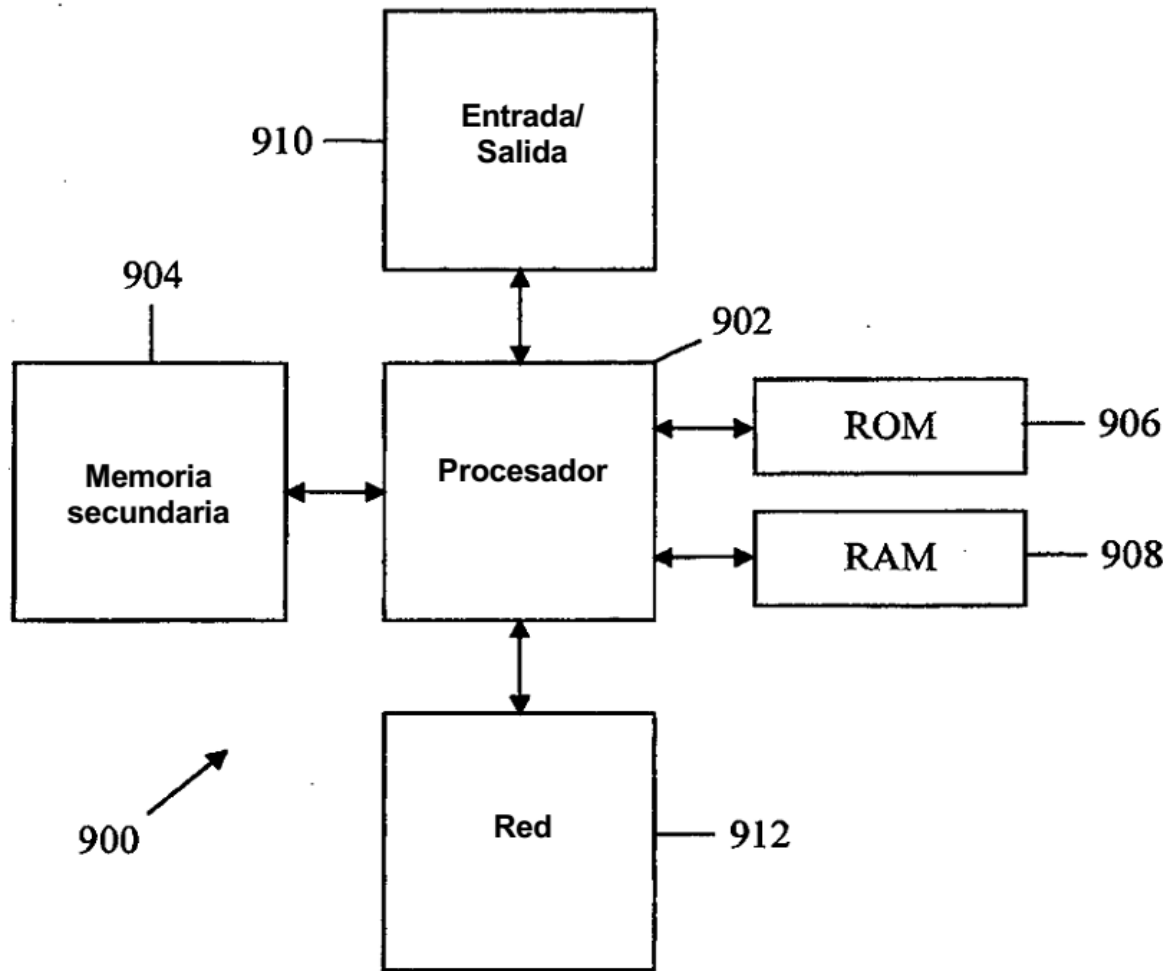


FIG. 9