

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 198**

51 Int. Cl.:

H04B 10/00 (2013.01)

H04B 10/54 (2013.01)

H04B 10/516 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2014 PCT/CN2014/086395**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2015 WO15035938**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2014 E 14843490 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.11.2017 EP 3039800**

54 Título: **Transmisores ópticos con bandas laterales ópticas desequilibradas separadas por intervalos**

30 Prioridad:

12.09.2013 US 201314024788

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

12.02.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WEN, YANGJING;
LIAO, CHUNLEI;
SHEN, XIAO y
BAI, YUSHENG**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 654 198 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

Transmisores ópticos con bandas laterales ópticas desequilibradas separadas por intervalos

5 **CAMPO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere al campo de comunicaciones de red y, en formas de realización particulares, a transmisores ópticos con bandas laterales ópticas desequilibradas separadas por intervalos.

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

El rápido aumento de la demanda de ancho de banda ha impulsado el desarrollo de transmisores ópticos capaces de proporcionar transmisiones de datos de más alta velocidad. Una estrategia para el desarrollo de transmisores ópticos con transmisiones de datos de mayor velocidad es confiar en una mayor disponibilidad de componentes electrónicos y ópticos. Sin embargo, al utilizar formatos multinivel, como por ejemplo la modulación de amplitud en cuadratura (QAM), se pueden conseguir transmisiones de datos de más alta velocidad sin aumentar los requisitos de ancho de banda eléctrico del transmisor. El reciente desarrollo de las tecnologías de procesamiento de señal digital (DSP) consigue un sistema prometedor, en el que la generación y detección de formatos de múltiples niveles se puede realizar fácilmente en tecnologías DSP. La puesta en práctica de formatos multinivel para transmisiones ópticas puede conducir a una relación de señal óptica a ruido requerida (ROSNR) más alta que los formatos binarios, tal como el no retorno a cero. La detección coherente puede satisfacer los requerimientos de la relación ROSNR, pero puede no ser rentable debido a componentes adicionales, a modo de ejemplo, mezcladores híbridos y osciladores locales.

25 El documento EP2461497A1 da a conocer que un modulador óptico puede configurarse para producir una señal óptica modulada conocida como una forma de onda de portadora suprimida de doble banda lateral (DSB-SC). Las bandas laterales superior e inferior definen el desplazamiento de frecuencia desde la portadora en f_L .

30 El documento de WEI-REN PENG ET AL: "Transmisión OFDM con Detección Directa, Espectralmente Eficiente, Incorporando un Intervalo de Frecuencia Ajustable y Técnicas de Detección Iterativas", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NUEVA YORK, NY, ESTADOS UNIDOS, 15-12-2009, da a conocer un sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de banda lateral única virtual de detección directa (VSSB-OFDM), linealmente modulado en campo, que utiliza un intervalo de frecuencia sintonizable y una técnica de detección iterativa.

35 El documento EP1370015A2 da a conocer que un generador de señal óptica que incluye una fuente de luz para generar una portadora óptica, un modulador de datos para modular la salida de la portadora óptica procedente de la fuente de luz con un modulador de datos de transmisión, un modulador de fase óptica para modular una fase óptica de una salida luminosa procedente del modulador de datos en sincronización con la luz de salida desde el
40 modulador de datos para resaltar una de las bandas laterales, y un filtro óptico para eliminar componentes armónicos situados fuera de la banda lateral resaltada de una luz de salida procedente del modulador de fase óptica.

45 El documento de CHAO TANG ET AL: "Mejora de la eficiencia del espectro de OFDM directamente detectado sobre la base del receptor de equilibrio", CONFERENCIA Y EXHIBICIÓN DE COMUNICACIONES Y FOTÓNICA DE ASIA, 02-11-2009, da a conocer que un sistema de banda lateral óptica única óptica de detección por corriente continua y multiplexación por división de frecuencia ortogonal (DD-OFDM) basado en un receptor de equilibrio que consta de dos PINs. Al introducir el desplazamiento de fase de π a un solo brazo del receptor propuesto, se puede eliminar la distorsión de intermodulación (IMD) cerca de la portadora óptica.

50 **SUMARIO DE LA INVENCION**

La presente invención se define de conformidad con las reivindicaciones independientes adjuntas.

55 En una forma de realización, la idea inventiva incluye un aparato que comprende un transmisor configurado para generar una señal óptica que incluye una portadora modulada con dos bandas laterales objeto de modulación con información, en donde la información introduce un intervalo de separación en un dominio de la frecuencia entre las bandas laterales y la portadora, en donde una de las bandas laterales es una banda lateral no deseada y otra de entre las bandas laterales es una banda lateral deseada, con una más alta intensidad de potencia que la banda lateral indeseada.

60 En otra forma de realización, la idea inventiva incluye un aparato que comprende una pluralidad de transmisores, en donde cada uno de los transmisores está configurado para generar una señal óptica que incluye una portadora modulada con dos bandas laterales que se modulan con información, en donde la información introduce un intervalo de separación en un dominio de la frecuencia entre las bandas laterales y la portadora, en donde una de las bandas
65 laterales es una banda lateral no deseada y la otra de entre las bandas laterales es una banda lateral deseada, y en donde las bandas laterales no están equilibradas debido al hecho de que la banda lateral deseada tiene una mayor

5 intensidad de potencia que la banda lateral no deseada antes de la transmisión, y una señal oscilante identificadora, en donde la una señal oscilante identificadora identifica, de forma unívoca, el transmisor, y un multiplexor acoplado a la pluralidad de transmisores, en donde cada una de las señales ópticas está centrada en una longitud de onda única, y en donde el multiplexor está configurado para transformar la pluralidad de señales ópticas en una señal óptica multiplexada.

10 En otra forma de realización, la idea inventiva incluye un método que comprende la recepción de una portadora óptica procedente de una fuente de luz, y la modulación de la portadora óptica con al menos dos bandas laterales moduladas con información, en donde la información introduce un intervalo de separación en un dominio de la frecuencia entre las bandas laterales y la portadora óptica, en donde una de las bandas laterales es una banda lateral no deseada y la otra de entre las bandas laterales es una banda lateral deseada, y en donde las bandas laterales no están equilibradas debido al hecho de que la banda lateral deseada tiene una mayor intensidad de potencia que la banda lateral no deseada, antes de la transmisión.

15 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para un entendimiento más completo de esta idea inventiva, se hace referencia, ahora, a la breve siguiente descripción, tomada en conjunto con los dibujos adjuntos y la descripción detalla, en donde referencias numéricas similares representan partes similares.

20 La Figura 1 es un gráfico de una forma de realización de una señal óptica de banda lateral desequilibrada.

La Figura 2 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor (Tx) modulado en intensidad (IM) configurado para generar una señal óptica con una portadora suprimida y bandas laterales ópticas desequilibradas y separadas con intervalos.

La Figura 3A es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx que utiliza la intensidad IM directa.

30 La Figura 3B es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx que utiliza la intensidad IM externa.

La Figura 3C es un diagrama esquemático de otra forma de realización de un transmisor IM-Tx que utiliza IM externa.

35 La Figura 4 describe una forma de realización de un método de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas, separadas por intervalos y de supresión de portadora mediante un filtrado óptico.

40 La Figura 5 describe otra forma de realización de un método de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas y supresión de portadora mediante un filtrado óptico.

La Figura 6 describe otra forma de realización de un método de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas y supresión de portadora mediante un filtrado óptico.

45 La Figura 7 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx de múltiples longitudes de onda configurado para generar una pluralidad de portadoras suprimidas, señales ópticas de múltiples longitudes de onda con bandas laterales ópticas desequilibradas, separadas por intervalos.

50 La Figura 8 describe una forma de realización de un método de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas, separada con intervalos de separación y de supresión de portadora mediante un filtrado óptico para un transmisor IM-Tx de múltiples longitudes de onda.

55 La Figura 9 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx configurado para generar una señal óptica con bandas laterales ópticas desequilibradas, separada con intervalos, y proporcionar un bloqueo de longitud de onda.

60 La Figura 10 es un diagrama esquemático de una realización de un transmisor IM-Tx de múltiples longitudes de onda configurado para generar una pluralidad de señales ópticas de múltiples longitudes de onda de portadora suprimida con bandas laterales ópticas desequilibradas, separadas por intervalos, y para proporcionan un bloqueo de longitud de onda.

65 La Figura 11 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un modulador Tx de Mach-Zehnder de doble electrodo (DE-MZM) configurado para generar una señal óptica con bandas laterales ópticas desequilibradas y separadas por intervalos.

La Figura 12 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un modulador Tx en fase/cuadratura (I/Q)

configurado para generar una señal óptica con bandas laterales ópticas desequilibradas y separadas por intervalos.

La Figura 13 ilustra un gráfico de curvas en cascada de Tasa Binaria de Error (BER) con respecto a la relación de ruido a señal óptica (OSNR), para una simulación de transmisión óptica de portadora suprimida y bandas laterales desequilibradas, separada por intervalos que realiza diversas relaciones de supresión de banda lateral única (SSSRs).

La Figura 14 ilustra curvas en cascada de la tasa BER frente a la relación OSNR para una simulación de transmisión óptica de portadora suprimida y bandas laterales desequilibradas, separadas por intervalos, que realiza diversas relaciones de portadora óptica a potencia de señales (OCSPRs).

La Figura 15 muestra curvas en cascada de BER frente a OSNR para una simulación de transmisión óptica de bandas laterales desequilibradas, y separada por intervalos, que realizan diversos intervalos de separación de bandas laterales.

La Figura 16 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un elemento de red.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Debe entenderse desde el principio que, aunque a continuación se proporciona 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, bien sean ya conocidas actualmente o en existencia. La idea inventiva no debe estar limitada a puesta en práctica ilustrativas, dibujos y técnicas que se muestran a continuación, incluyendo los diseños, a modo de ejemplo, y las realizaciones aquí ilustradas y descritas, sino que puede modificarse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas junto con su gama completa de equivalentes.

En este documento, se da a conocer un sistema, aparato y/o método para la generación de bandas laterales desequilibradas, con intervalos, utilizando un transmisor óptico. El transmisor óptico dado a conocer puede estar configurado para funcionar en sistemas ópticos de longitud de onda única y también múltiples. Un intervalo de separación entre una señal portadora y las bandas laterales correspondientes puede generarse mediante la introducción de un intervalo entre una señal modulada de sub-portadora (SCM) y un componente directo (DC) de una señal eléctrica que se transmite por las bandas laterales. Después de la modulación, las bandas laterales pueden desequilibrarse al pasar la señal óptica a través de un filtro óptico con el fin de retener una banda lateral deseada y suprimir una banda lateral no deseada. En algunas instancias operativas, las bandas laterales pueden desequilibrarse mediante la modulación de la portadora. A modo de ejemplo, las bandas laterales pueden desequilibrarse mediante un sobreimpulso de frecuencia que se introduce mientras se modula la intensidad (p.ej., modulación directa o externa) de la portadora. Además, las bandas laterales pueden desequilibrarse mediante la modulación de la portadora con el uso de un modulador DE-MZM o un modulador en fase/cuadratura (I/Q) con la señal eléctrica y su transformada de Hilbert. En un sistema de múltiples longitudes de onda, las bandas laterales pueden desequilibrarse y las portadoras suprimirse para cada longitud de onda mediante el desplazamiento del valor máximo de banda de paso correspondiente a cada longitud de onda desde la frecuencia central de portadora a la frecuencia central de la banda lateral deseada. Además, las bandas laterales desequilibradas y las portadoras suprimidas pueden generarse por intermedio de un filtro óptico situado después de un multiplexor. Una fuente de luz que genera una portadora puede ser bloqueada en longitud de onda muestreando la señal óptica antes y después del filtro óptico, convirtiendo las muestras en señales eléctricas mediante fotodetección, y reenviando las señales eléctricas a una unidad de control que puede generar una señal de bloqueo de longitud de onda sobre la base de las señales eléctricas. El bloque de longitud de onda puede realizarse, de modo similar, en un sistema de múltiples longitudes de onda insertando una señal oscilante identificadora en cada señal óptica de longitud de onda de modo que la unidad de control pueda identificar, de forma única, cada señal óptica de longitud de onda para fines de bloqueo de longitud de onda. En una banda lateral desequilibrada, una señal óptica de portadora suprimida puede diseñarse de conformidad con un intervalo de separación de banda lateral, una tasa de potencia de señal a portadora (OCSPR) y una tasa de supresión de banda lateral única (SSSR). En una forma de realización preferida, el intervalo de separación de banda lateral puede establecerse sobre 0.1 veces el ancho de banda de banda lateral de 3 decibelios (dB), la tasa OCSPR puede establecerse en un margen de -15 dB a +15 dB y la tasa SSSR puede establecerse en al menos 5 dB.

Los sistemas ópticos de detección directa (DD) pueden ser más rentables para sistemas de corto alcance (a modo de ejemplo, redes de acceso de metro), en parte debido al hecho de una puesta en práctica menos complicada. Los formatos de múltiples niveles, incluyendo la modulación de banda base y SCM, pueden permitir que los sistemas de transmisión óptica DD cumplan la relación de ruido a señal óptica requerida (ROSNR). Sin embargo, el rendimiento de la relación ROSNR de sistemas ópticos DD puede depender del rendimiento de los transmisores ópticos utilizados. El transmisor óptico dado a conocer es capaz de generar bandas laterales ópticas desequilibradas con un intervalo entre la portadora y cada banda lateral con lo que se mejora el rendimiento de ROSNR de un sistema óptico DD. El transmisor óptico dado a conocer puede, además, expandirse para sistemas ópticos de múltiples longitudes de onda con el fin de aumentar el ancho de banda del sistema óptico. El rendimiento de la relación ROSNR puede mejorarse mediante el transmisor óptico, aquí dado a conocer, controlando el intervalo entre la

portadora y cada banda lateral, la relación de potencia de señal a portadora (CSPR) y la tasa de supresión SSSR.

La Figura 1 es un gráfico de una forma de realización de una señal óptica de banda lateral desequilibrada 100. La señal óptica 100 puede incluir una portadora óptica 110 modulada con dos bandas laterales ópticas. En una forma de realización, la portadora óptica 110 puede tener características de onda continua (CW). La portadora óptica 110 puede experimentar un ruido de fase caracterizado por un ancho de línea de láser y un ruido de intensidad caracterizado por un ruido de intensidad relativo (RIN). Además, el ruido RIN puede no tener una distribución plana alrededor de la frecuencia de la portadora óptica 110. Las bandas laterales ópticas pueden mostrar intensidades desiguales, en donde la banda lateral óptica con una intensidad mayor puede referirse como una banda lateral deseada 120 y la banda lateral óptica con una intensidad más baja puede referirse como una banda lateral no deseada 130. En una forma de realización, la banda lateral deseada 120 y la banda lateral no deseada 130 pueden ser imágenes especulares y, de este modo, transmitir datos prácticamente similares en una o más sub-portadoras. Además, la banda lateral deseada 120 puede estar centrada en una frecuencia superior de portadora óptica 110 y la banda lateral no deseada 130 puede centrarse en una frecuencia inferior de portadora óptica 110, o viceversa.

La señal óptica 100 puede estar caracterizada por una pluralidad de características, tales como un intervalo de separación A 140, un ancho de banda de banda lateral B 150, una tasa de supresión de banda lateral única (SSSR) y/o una tasa de potencia de señal a portadora óptica (OCSPR). En el dominio de la frecuencia, un intervalo de separación A 140 puede definir un intervalo de separación entre la portadora óptica 110 y sus respectivas bandas laterales (esto es, banda lateral deseada 120 y banda lateral no deseada 130). Se puede introducir un intervalo de separación A 140 con el fin de permitir que una interferencia inducida por pulsación señal-señal sea separada de una señal útil, lo que incluye una pulsación de señal a portadora. En una forma de realización, un intervalo de separación A 140 entre una portadora óptica 110 y una banda lateral deseada 120 puede ser prácticamente similar a un intervalo de separación A 140 entre una portadora óptica 110 y una banda lateral no deseada 130. Un transmisor óptico (Tx) puede introducir un intervalo de separación A 140 en datos eléctricos por intermedio de un procesamiento de señal analógica y/o digital. A modo de ejemplo, un transmisor Tx, que utiliza una modulación de amplitud y fase sin portadora (CAP) puede ajustar el intervalo de separación A 140 mediante el ajuste de una frecuencia de sub-portadora de un filtro CAP. El intervalo de separación A 140 puede introducirse, además, mediante la generación de Datos SCM separados en el dominio eléctrico que han de modularse en una frecuencia portadora óptica. Los Datos SCM separados pueden ponerse en práctica a través de técnicas tales como SCM única y de múltiples SCM, mediante la selección de una frecuencia de sub-portadora adecuada (o frecuencias). Además, los datos SCM con intervalo pueden modularse utilizando varios formatos de múltiples niveles que incluyen el desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) y modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

El ancho de banda de banda lateral B 150 puede definir un ancho de banda de 3 dB o de media potencia para, a la vez, la banda lateral deseada 120 y la banda lateral no deseada 130. El ancho de banda de 3 dB de una banda lateral óptica puede definirse como un margen de frecuencia entre una frecuencia de corte de banda lateral superior y una frecuencia de corte de banda lateral inferior. La frecuencia de corte de banda lateral superior puede estar en una frecuencia por encima de una frecuencia de pico de intensidad de banda lateral, en donde la intensidad de banda lateral es aproximadamente 3 dB inferior que un pico de intensidad de banda lateral. De modo similar, la frecuencia de corte de banda lateral inferior puede estar en una frecuencia por debajo de la frecuencia de pico de intensidad de banda lateral, en donde la intensidad de banda lateral es aproximadamente 3 dB inferior que el pico de intensidad de banda lateral. La anchura del intervalo de separación A 140 puede medirse en el dominio óptico mediante una diferencia de frecuencia entre una frecuencia central de la portadora óptica 110 y la frecuencia de corte más próxima de la banda lateral óptica correspondiente para la frecuencia central de portadora óptica que se utiliza para determinar el ancho de banda de banda lateral. Como alternativa, el ancho de banda de banda lateral B 150 y el intervalo de separación A 140 pueden medirse utilizando un espectro eléctrico de datos antes de su uso para modular el Tx. Se puede determinar un ancho de banda de banda lateral B 150 mediante una tasa de símbolo de señal y parámetros de filtro de conformación de pulsos, si se aplica dicha conformación de pulsos (p.ej., tipo de filtro y/o factor de deslizamiento).

Se puede definir una tasa SSSR para la señal óptica 100 como una relación de potencia de la banda lateral deseada 120 para la banda lateral no deseada 130. Por lo tanto, si la SSSR llega a ser suficientemente grande (o pequeña), la señal óptica 100 puede ser una señal óptica de banda lateral única. Una OCSPR también puede definirse para la señal óptica 100 como una relación de potencia de la portadora óptica 110 para la suma de la banda lateral deseada 120 y la banda lateral no deseada 130. Las señales ópticas de banda lateral doble, equilibradas, pueden tener una tasa OCSPR aproximadamente 6 dB más alta que una tasa de potencia de señal a portadora en el dominio eléctrico (CSPR), lo que puede medirse tanto en un dominio de tiempo como de frecuencia. El hecho de seleccionar un intervalo de separación suficiente A 140 puede depender de la tasa OCSPR de la señal óptica 100, que puede aumentarse mediante una reducción de un valor de OCSPR absoluto. Una tasa OCSPR baja (p.ej., aproximadamente 0 dB) puede necesitar un mayor intervalo de separación A 140 que es aproximadamente igual al ancho de banda B 150. Como alternativa, una tasa OCSPR mayor (p.ej., Txs que utilizan una modulación de señal pequeña) puede necesitar un intervalo de separación más pequeño A 140. En una forma de realización, un Tx SCM modulado en intensidad (IM), sin supresión de portadora óptica, que tiene una tasa OCSPR relativamente mayor, puede necesitar solamente un intervalo de separación A 140 de aproximadamente 0 Hz. Además, una tasa ROSNR mínima 'respaldo a respaldo' (BtB) puede depender tanto de la relación OCSPR como del intervalo de separación A

140 de la señal óptica 100. Una tasa ROSNR BtB mínima puede ser el resultado de un intervalo de separación grande A (p.ej., intervalo de separación $A \geq$ ancho de banda de banda lateral B) y una baja relación OCSNR (p.ej., ≈ 0 dB), ya que puede producirse un producto de pulsación máximo cuando la intensidad de una portadora óptica y las bandas laterales ópticas son aproximadamente iguales.

Un transmisor Tx capaz de generar la señal óptica 100 puede experimentar una tolerancia de dispersión de fibra mejorada debido a las bandas laterales ópticas desequilibradas. La mejora en la tolerancia a la dispersión de la fibra puede realizarse, en parte, a través de una tasa SSSR más grande. Un deterioro de potencia de dispersión de radiofrecuencia (RF) inducida que resulta de una diferencia de fase entre las dos bandas laterales ópticas puede eliminarse esencialmente si la tasa SSSR llega a ser suficientemente grande. Además de la mayor tolerancia a la dispersión de fibra, el transmisor Tx puede presentar, además, una relación ROSNR reducida y/o una mejora en la sensibilidad del receptor (es decir, una potencia óptica recibida menor para una tasa BER dada) cuando el intervalo de separación A 140, los parámetros de OCSNR y/o SSSR están definidos adecuadamente. El transmisor Tx capaz de generar la señal óptica 100 puede ponerse en práctica en varios modos operativos, incluyendo un transmisor modulado en intensidad IM-Tx acoplado a un filtro óptico, un modulador de doble electrodo DE-MZM con una transformada de Hilbert y un modulador I/Q con una transformada de Hilbert.

La Figura 2 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx 200 configurado para generar una señal óptica con una portadora suprimida y bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos de separación (p.ej., señal óptica 100 de la Figura 1). El transmisor IM-Tx 200 puede incluir un SCM-Tx 210 y un filtro óptico 220. El SCM-Tx 210 puede incluir un bloque de datos SCM con intervalos de separación 212 y un modulador de IM eléctrica a óptica (E/O) 214. El bloque de Datos SCM con intervalos de separación 212 puede estar configurado para reenviar una señal eléctrica SCM con un intervalo de separación entre un componente directo (DC) y una señal SCM. La señal eléctrica SCM puede generarse utilizando DSP o técnicas de procesamiento de señal analógica (ASP). El intervalo de separación puede introducirse entre la componente de corriente continua DC y la señal SCM con el fin de mitigar cualquier interferencia inducida por la pulsación señal a señal y/o pulsación sub-portadora a sub-portadora que surja a partir de la fotodetección. El hecho de suprimir una portadora óptica de una señal SCM IM, puede reducir la relación CSPR y aumentar la eficiencia energética. Sin embargo, la supresión de la portadora óptica sin el intervalo de separación puede no mitigar la interferencia inducida por la pulsación. En una forma de realización, SCM-Tx 210 puede incluir, además, un amplificador eléctrico y/o un controlador (no ilustrado) que intervienen entre el bloque de Datos SCM separados 212 y el modulador IM-E/O 214. En esta forma de realización, se puede requerir un controlador con linealidad mejorada si el bloque de datos SCM 212 procesa en el formato de múltiples niveles, una señal eléctrica SCM. El modulador IM-E/O 214 puede configurarse para convertir la señal eléctrica SCM en una señal óptica IM que incluye una portadora óptica con dos bandas laterales ópticas mediante la modulación de la intensidad de la portadora óptica. La señal óptica IM puede reenviarse, por el modulador IM-E/O 214 a un filtro óptico 220. El filtro óptico 220 puede estar configurado para generar una señal óptica filtrada con una portadora suprimida y dos bandas laterales desequilibradas mediante la supresión de una intensidad de banda lateral no deseada. Además, el filtro óptico 220 puede estar configurado, también, para suprimir la intensidad de la portadora óptica.

Varias formas de modulación en intensidad IM, incluyendo la modulación directa y externa, se pueden utilizar para poner en práctica el modulador IM-E/O de un transmisor IM-Tx (p.ej., IM-Tx 200 de la Figura 2). Las Figuras 3A-3C son diagramas esquemáticos de formas de realización alternativas de un IM-Tx. La Figura 3A es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx 310 que utiliza la modulación IM directa. La Figura 3B es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx 320 que utiliza la modulación IM externa. La Figura 3C es un diagrama esquemático de otra forma de realización de un transmisor IM-Tx 330 que utiliza la IM externa. En la Figura 3A, el transmisor IM-Tx 310 puede incluir un bloque de datos SCM 312, que puede ser similar al bloque de datos SCM 212 de la Figura 2, y un láser modulado, de forma directa (DML) 315. El láser DML 315 puede estar configurado para recibir una señal eléctrica SCM con un intervalo de separación procedente del bloque de datos SCM 312. La señal eléctrica puede utilizarse por el láser DML 315 para modular, directamente, un diodo láser (p.ej., un láser de realimentación distribuida o un láser emisor de superficie de cavidad vertical). El láser DML 315 puede generar, a la salida, una señal óptica IM que incluye una portadora óptica con dos bandas laterales ópticas para un filtro óptico.

En la Figura 3B, el transmisor IM-Tx 320 puede incluir un bloque de datos SCM 322, que puede ser similar al bloque de datos SCM 212 de la Figura 2, un láser CW 321 y un modulador de electro-absorción (EAM) 325. El láser CW 321 puede ser una fuente de señal óptica (p.ej., un gas, de estado sólido, semiconductor, o láser de colorante) que puede bombearse continuamente y emitir, de forma continua, una señal óptica. El modulador EAM 325 puede estar configurado para recibir la señal óptica procedente del láser CW 321 y una señal eléctrica modulada de sub-portadora, con un intervalo de separación procedente del bloque de datos SCM 322. La señal eléctrica puede utilizarse por el modulador EAM 325 para modular la intensidad de la señal óptica. El modulador EAM 325 puede proporcionar, a la salida, una señal óptica IM que incluye una portadora óptica con dos bandas laterales ópticas a un filtro óptico.

En la Figura 3C, el transmisor IM-Tx 330 puede incluir un bloque de datos SCM 332, que puede ser similar al bloque de datos SCM 212 de la Figura 2, un láser CW 331, que puede ser similar al bloque CW 321, y un modulador Mach-

Zehnder (MZM) 335. El modulador MZM 335 puede estar configurado para recibir una señal óptica procedente del láser CW 331 y una señal eléctrica modulada de sub-portadora con un intervalo de separación procedente del bloque de datos SCM 332. La señal eléctrica puede utilizarse por el modulador MZM 335 con el fin de modular la intensidad de la señal óptica. El modulador MZM 335 puede proporcionar, a la salida, una señal óptica IM que incluye una portadora óptica con dos bandas laterales ópticas a un filtro óptico.

Además de diferentes dinámicas no lineales, una señal óptica procedente de la modulación IM directa de una señal eléctrica SCM puede presentar distintas características de sobreimpulso de frecuencia que en una señal óptica procedente de una IM externa de una señal eléctrica SCM. Estas distintas características de sobreimpulso de frecuencia pueden ser importantes cuando se diseña un filtro óptico para una generación de bandas laterales ópticas desequilibradas y supresión de portadora. Un transmisor IM-Tx puede proporcionar, a la salida, una señal óptica modulada SCM, alineada en el dominio de la frecuencia, a una longitud de onda de un filtro óptico para este procesamiento posterior. El filtro óptico puede ponerse en práctica con cualquier tipo de filtro óptico que pueda suprimir una de las bandas laterales ópticas y suprimir la portadora óptica (p.ej., una red matricial de guía de ondas, un filtro de película delgada y/o cualquier filtro de tipo interferométrico).

La Figura 4 ilustra una forma de realización de un método 400 de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos de separación y supresión de portadora por intermedio de un filtrado óptico. El método 400 puede iniciarse con una entrada de señal óptica IM 410 (por ejemplo, señal óptica 100) en una entrada de un filtro óptico (p.ej., filtro óptico 220 de la Figura 2) en el dominio de la frecuencia. La entrada de señal óptica IM 410 puede incluir una portadora no suprimida 411, una banda lateral centrada a una frecuencia inferior a la portadora (banda lateral roja) 412, y una banda lateral centrada a una frecuencia más alta (banda lateral azul) 413. Durante la modulación IM, ningún sobreimpulso de frecuencia puede haberse introducido en la entrada de señal óptica IM 410 y, por consiguiente, la banda lateral roja 412 y la banda lateral azul 413 pueden tener una intensidad similar en la entrada del filtro óptico. Como un ejemplo de la entrada de señal óptica IM 410, la entrada de señal óptica IM 410 puede ser CAP con una señal óptica modulada a 16 QAM, donde un filtro de Nyquist de coseno elevado con raíz cuadrada con un factor de desplazamiento de 0.15 puede usarse como filtro CAP para la conformación de pulsos. En el método 400, la banda lateral azul 413 se puede designar como una banda lateral deseada y la banda lateral roja 412 se puede designar como una banda lateral no deseada. El filtro óptico puede incluir una curva de respuesta de filtro óptico 420 para suprimir la banda lateral roja 412 y la portadora 411. La curva de respuesta de filtro óptico 420 puede estar caracterizada por una supresión de portadora 428 en un desplazamiento de pico de transmisión de filtro 426. El desplazamiento de pico de transmisión de filtro 426 puede representar un desplazamiento de un pico de transmisión de filtro desde una frecuencia central de portadora 421 a una frecuencia central de banda lateral azul 423. De este modo, la portadora 411 y la banda lateral roja 412 pueden caer a una respuesta de amplitud más baja, de la curva de respuesta de filtro óptico 420, que la banda lateral azul 413. En el método 400, una señal óptica IM filtrada 430 puede ser una salida del filtro óptico después de que la entrada de señal óptica IM 410 pase a través del filtro óptico. La señal óptica IM filtrada 430 puede incluir una portadora suprimida 431, una banda lateral roja suprimida 432 y una banda lateral azul retenida 433. Tanto la portadora suprimida 431 como la banda lateral roja suprimida 432 pueden tener una intensidad reducida con respecto a la portadora 411 y la banda lateral roja 412, respectivamente, debido a la caída del filtro óptico en su propia banda de frecuencias. La banda lateral roja suprimida 432 puede experimentar una mayor reducción en la intensidad que la portadora suprimida 431. Esta mayor reducción de intensidad puede ser el resultado de que una banda lateral roja suprimida 432 cae en una respuesta de amplitud más baja de la curva de respuesta de filtro óptico 420, que la portadora suprimida 431. La diferencia relativa en la reducción de intensidad entre la portadora suprimida 431 y la banda lateral roja suprimida 432 puede depender de una forma de filtro del filtro óptico, y del tamaño del desplazamiento de pico de transmisión del filtro 426. Una forma de realización preferida del filtro óptico puede conseguir la mayor reducción de intensidad de una banda lateral roja suprimida 432 cuando ello fuera posible. El nivel de reducción de intensidad para la portadora suprimida 431 puede depender de la relación OCSR de la entrada de señal óptica IM 410. Un índice de modulación de la entrada de señal óptica IM 410 puede ser pequeño con el fin de evitar la no linealidad de modulación, lo que puede contribuir a una relación CSPR más alta. La relación CSPR más alta de la entrada de señal óptica IM 410 puede necesitar un mayor nivel de reducción de intensidad para la portadora suprimida 431 con el fin de conseguir una relación ROSNR más baja. Una forma de realización preferida del filtro óptico puede poner en práctica una reducción de intensidad para la portadora suprimida 431 que tenga como resultado una intensidad similar a la de la banda lateral azul retenida 433.

La Figura 5 ilustra otra forma de realización de un método 500 de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos de separación y supresión de portadora por intermedio de un filtrado óptico. El método 500 puede iniciarse con una entrada de señal óptica IM 510, que puede ser similar a la entrada de señal óptica IM 410, en una entrada de un filtro óptico en el dominio de la frecuencia. En el método 500, una banda lateral roja 512 se puede designar como una banda lateral deseada y una banda lateral azul 513 se puede designar como una banda lateral no deseada. El filtro óptico puede incluir una curva de respuesta de filtro óptico 520 con el fin de suprimir la banda lateral azul 513 y la portadora 511. La curva de respuesta de filtro óptico 520 puede estar caracterizada por una supresión de portadora 528, que puede ser similar a la supresión de portadora 428 de la Figura 4, en un desplazamiento de pico de transmisión de filtro 526. El desplazamiento de pico de transmisión de filtro 526 puede representar un desplazamiento de un pico de transmisión de filtro desde una frecuencia central de portadora 521 a una frecuencia central de banda lateral roja 522. Por lo tanto, la portadora 511 y la banda lateral

azul 513 pueden caer en una respuesta de amplitud inferior de la curva de respuesta de filtro óptico 520 que la banda lateral roja 512. En el método 500, una señal óptica IM filtrada 530 puede ser una salida del filtro óptico después de que la entrada de señal óptica IM 510 pasa a través del filtro óptico. La señal óptica IM filtrada 530 puede ser similar a la señal óptica IM filtrada 430 con la excepción de que la banda lateral roja 512 puede estar retenida y la banda lateral azul 513 puede ser suprimida.

La Figura 6 ilustra otra forma de realización de un método 600 de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos de separación y supresión de portadora por intermedio de un filtrado óptico. La entrada de señales ópticas IM 410 y 510, de las Figuras 4 y 5, respectivamente, pueden incluir bandas laterales ópticas de igual intensidad. Sin embargo, la modulación IM de las señales ópticas puede inducir a un sobreimpulso de frecuencia que puede dar como resultado una banda lateral que tenga una más alta intensidad que la otra banda lateral en una entrada del filtro óptico. A modo de ejemplo, la modulación directa de un diodo láser puede dar como resultado un sobreimpulso de frecuencia positivo, en donde una banda lateral azul puede tener una mayor intensidad en una entrada del filtro óptico que una banda lateral roja. A modo de otro ejemplo, un EAM de un diodo láser puede inducir a un sobreimpulso negativo, en donde una banda lateral roja puede tener una mayor intensidad en una entrada de filtro óptico que una banda lateral azul. En consecuencia, la presencia de un sobreimpulso de frecuencia en una entrada de señal óptica IM puede incidir sobre la decisión de qué banda lateral ha de retenerse durante la generación de bandas laterales ópticas desequilibradas.

En una forma de realización, la modulación directa de un diodo láser con un tono de reloj único puede probar la asimetría de una modulación IM de bandas laterales de señal óptica, que puede surgir debido al sobreimpulso de frecuencia. La potencia óptica de un láser semiconductor modulado, de forma directa, con un tono de reloj único, puede expresarse como:

Ecuación 1

$$P(t) = P_{ave} [1 + m \cos(\Omega t)] \quad (1)$$

En donde:

$P(t)$ = una potencia óptica de salida

P_{ave} = una potencia óptica media

m = un índice de modulación

Ω = una frecuencia de ángulo de modulación

Además, suponiendo una modulación de señal pequeña, el sobreimpulso de frecuencia puede expresarse como:

Ecuaciones 2, 3 y 4

$$\Delta\nu(t) = \frac{\alpha}{4\pi} \left[\frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt} + \kappa \Delta P(t) \right] \quad (2)$$

$$\kappa = \frac{2\Gamma\epsilon}{V\eta_0 h\nu_0}$$

(3)

$$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (4)$$

En donde:

$\Delta\nu(t)$ = un sobreimpulso de frecuencia

α = un factor de mejora del ancho de línea

Γ = un factor de confinamiento óptico

ϵ = un factor de compresión de ganancia

V = un volumen de área activa

η_0 = una eficiencia cuántica diferencial

h = constante de Planck

5

ω_0 = una frecuencia de ángulo de portadora óptica

Si se considera un sobreimpulso adiabático y se ignora un sobreimpulso transitorio, la Ecuación 2 se puede expresar como:

10

Ecuación 5

$$\Delta v(t) = \frac{\alpha K}{4\pi} \Delta P(t) = \frac{\alpha K m P_{ave}}{4\pi} \cos(\Omega t) \quad (5)$$

15 Además, un campo óptico puede expresarse como:

Ecuaciones 6, 7, 8 y 9

$$E(t) = \sqrt{P(t)} e^{j\omega_0 t + j\phi(t)} \quad (6)$$

20

$$\phi(t) = 2\pi \int_0^t \Delta v(\tau) d\tau = \frac{\alpha K m P_{ave}}{4\pi f} \sin(\Omega t) = \chi \sin(\Omega t) \quad (7)$$

$$f = \frac{2\pi}{\Omega} \quad (8)$$

$$\chi = \frac{\alpha m P_{ave}}{4\pi f} \frac{2\Gamma \epsilon}{V \eta_0 h \nu_0} \quad (9)$$

25

En donde:

$E(t)$ = un campo de salida

30

$\phi(t)$ = una fase óptica

f = una frecuencia de modulación

35 El campo óptico puede expresarse, además, como:

Ecuación 10, 11, 12, 13 y 14

$$E(t) = \sqrt{P_{ave}} \left(1 + \frac{m}{2} \cos(\Omega t) \right) e^{j\omega_0 t + j\chi \sin(\Omega t)} \quad (10)$$

$$= \sqrt{P_{ave}} \left(1 + \frac{m}{4} (e^{j\Omega t} + e^{-j\Omega t}) \right) e^{j\omega_0 t} e^{j\chi \sin(\Omega t)} \quad (11)$$

40

Utilizando una expansión de Jacobi-Anger:

$$e^{j\chi \sin(\Omega t)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\chi) e^{jn\Omega t} \quad (12)$$

45 Y

$$J_{-n}(\chi) = (-1)^n J_n(\chi) \quad (13)$$

Por lo tanto, el campo óptico se convierte en:

$$E(t) = \sqrt{P_{avg}} \left\{ J_0(\chi) e^{j\omega_0 t} + \left(\frac{m}{4} J_0(\chi) + J_1(\chi) + \frac{m}{4} J_2(\chi) \right) e^{j(\omega_0 + \Omega)t} + \left(\frac{m}{4} J_0(\chi) - J_1(\chi) + \frac{m}{4} J_2(\chi) \right) e^{j(\omega_0 - \Omega)t} + \text{higher order terms} \right\} \quad (14)$$

En donde:

5 $E(t)$ = un campo de salida

$\Phi(t)$ = una fase óptica

10 La potencia óptica en la portadora puede expresarse como:

Ecuaciones 15, 16, y 17

$$P_0 = J_0^2(\chi) P_{avg}$$

(15)

15 En la frecuencia superior $\omega_0 + \Omega$:

$$P_{+1} = \left[\frac{m}{4} J_0(\chi) + J_1(\chi) + \frac{m}{4} J_2(\chi) \right]^2 P_{avg} \quad (16)$$

20 Y en la frecuencia más baja $\omega_0 - \Omega$:

$$P_{-1} = \left[\frac{m}{4} J_0(\chi) - J_1(\chi) + \frac{m}{4} J_2(\chi) \right]^2 P_{avg} \quad (17)$$

25 Si $\alpha = 0$ y $\chi = 0$, $J_0(0)$ puede ser igual a 1, $J_1(0)$ puede ser igual a 0 y $J_2(0)$ puede ser igual a 0. Por lo tanto, es posible que no haya cambios en la potencia óptica en la portadora y ambas bandas laterales. Además, si $\alpha > 0$ y otros parámetros físicos del láser se encuentran en una región de interés, $J_0(0)$, $J_1(0)$ y $J_2(0)$ pueden ser todos mayores que 0. En una aproximación de primer orden, la potencia óptica en la banda lateral superior puede aumentar, la potencia óptica en la frecuencia de banda lateral inferior puede ser menor que la banda lateral superior, y la portadora óptica puede reducirse.

30 Por lo tanto, un sobreimpulso de frecuencia puede introducir una asimetría en el espectro óptico de una señal óptica IM. A modo de ejemplo, el método 600 puede iniciarse con una entrada de señal óptica IM 610 en una entrada de un filtro óptico en el dominio de la frecuencia. Una diferencia entre la entrada de señal óptica IM 610 y la entrada de las señales ópticas IM 410 y 510 puede ser que la entrada de señal óptica IM 610 puede experimentar un sobreimpulso positivo durante la modulación (p.ej., DML con sobreimpulso positivo). En consecuencia, la banda lateral azul 613 puede tener una mayor intensidad que la banda lateral roja 612, y la portadora 611 puede tener una intensidad menor que la portadora 411 y la portadora 511 de las Figuras 4 y 5, respectivamente. En el método 600, la retención de la banda lateral azul 613 como una banda lateral deseada mientras que se suprime la banda lateral roja 612 como una banda lateral no deseada puede ser preferible. Un filtro óptico puede incluir una curva de respuesta de filtro óptico 620, que puede ser similar a la curva de respuesta de filtro óptico 420, con el fin de suprimir la banda lateral roja 612 y la portadora 611. Sin embargo, el método 600 puede requerir una menor supresión de portadora 626 que en el método 400, al mismo tiempo que mantiene una relación OCSPR similar a la del método 400, lo que puede conducir a una menor pérdida de transmisión de filtro. La señal óptica IM filtrada 630 puede ser similar a la señal óptica IM filtrada 430, pero la intensidad de banda lateral azul retenida 633 puede mejorarse mediante el sobreimpulso de frecuencia positivo. Además, la banda lateral roja suprimida 632 puede tener una menor intensidad que la banda lateral roja suprimida 432 en parte como resultado del sobreimpulso de frecuencia positivo, lo que puede facilitar, además, una supresión adicional de la banda lateral roja suprimida 632. Además, como una modulación IM de una señal óptica puede generar bandas laterales ópticas desequilibradas sin ningún procesamiento adicional (p.ej., debido al sobreimpulso de frecuencia), puede no ser necesario un filtro óptico para algunas transmisiones de corta distancia.

Los métodos aquí dados a conocer para generar señales ópticas con bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos de separación, puede ponerse en práctica, de modo similar, cuando se utilizan transmisores ópticos de múltiples longitudes de onda. La Figura 7 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx 700 de múltiples longitudes de onda, configurado para generar una pluralidad de portadoras suprimidas, señales ópticas de múltiples longitudes de onda con bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos de separación. El transmisor IM-Tx 700 de múltiples longitudes de onda puede incluir un SCM-Tx de múltiples

longitudes de onda 710 y un filtro óptico 720, que puede ser similar al filtro óptico 220 de la Figura 2, respectivamente. El transmisor SCM-Tx de múltiples longitudes de onda 710 puede incluir una pluralidad de bloques de datos SCM 712 acoplados a una pluralidad de moduladores IM-E/O 714. Cada uno de entre la pluralidad de bloques de datos SCM 712 y moduladores IM-E/O 714 puede ser similar a un bloque de datos SCM 212 y un modulador IM-E/O 214 de la Figura 2, respectivamente. La pluralidad de moduladores IM-E/O 714 puede ponerse en práctica por intermedio de cualquier combinación de transmisores IM-Txs (p.ej., IM-Tx 310 de la Figura 3A, IM-Tx 320 de la Figura 3B y/o IM-Tx 330). El transmisor SCM-Tx de múltiples longitudes de onda 710 puede incluir, además, un multiplexor 715 (p.ej., un multiplexor de redes matriciales de guía de ondas) configurado para recibir una señal óptica IM procedente de cada uno de la pluralidad de moduladores IM-E/O 714, combinar cada una de entre la pluralidad de señales ópticas IM en una única modulación IM de múltiples longitudes de onda de señal óptica, y reenviar la IM de longitud de onda múltiple de señal óptica al filtro óptico 720.

De modo similar al bloque de datos SCM 212 de la Figura 2, cada uno de la pluralidad de bloques de datos SCM 712 puede configurarse para reenviar una señal eléctrica SCM con un intervalo de separación entre un componente DC y una SCM. Las señales eléctricas SCM pueden generarse a nivel local, o de forma distante, utilizando técnicas DSP o de procesamiento de señal analógica (ASP). De modo similar a la señal óptica 100, cada una de entre la pluralidad de señales eléctricas SCM puede incluir una portadora óptica modulada con dos bandas laterales ópticas. Cada una de entre la pluralidad de señales eléctricas SCM puede ponerse en práctica a través de las técnicas, a la vez, de modulación de sub-portadora única y de modulación de múltiples sub-portadoras mediante la selección de una frecuencia de sub-portadora apropiada. Además, cada una de entre la pluralidad de señales eléctricas SCM puede modularse usando varios formatos de múltiples niveles que incluyen QPSK y QAM. Además, cada una de la pluralidad de señales eléctricas SCM puede incluir una única señal SCM. En una forma de realización, al menos una de la pluralidad de señales eléctricas SCM puede modularse utilizando un formato diferente y puede incluir datos en una cantidad distinta de sub-portadoras que las otras señales eléctricas SCM. También se puede necesitar un controlador y/o un amplificador eléctrico (no ilustrado) entre al menos uno de los bloques de datos SCM 712 y el correspondiente modulador IM-E/O 714.

El filtro óptico 720 puede estar configurado para generar una pluralidad de señales ópticas IM con dos bandas laterales desequilibradas mediante la supresión de una intensidad de banda lateral no deseada. Además, el filtro óptico 720 puede estar configurado, también, para suprimir cada una de las intensidades de la portadora óptica. En una forma de realización, el filtro óptico 720 puede ser cualquier filtro interferométrico con transmisión periódica, que incluye, pero no está limitado a, un interferómetro escalonado o multi-especular. El filtro óptico 720 puede incluir una gama espectral libre (FSR) que puede diseñarse para ser igual o un sub-armónico del espaciamiento de canales de la señal óptica IM de múltiples longitudes de onda. La forma del filtro del filtro óptico 720 puede determinarse por la reflectancia superficial del filtro, el ángulo de incidencia y el número de espejos, lo que puede depender de las relaciones de supresión requeridas para la pluralidad de portadoras ópticas y bandas laterales no deseadas. En una forma de realización, se puede introducir un filtro óptico adicional para la generación de bandas laterales ópticas desequilibradas y supresión de portadora, de modo que se proporcione más flexibilidad en las relaciones OCSPR y SSSR de un diseño de filtro. En otra forma de realización, el multiplexor 715 puede utilizarse para generar bandas laterales desequilibradas y suprimir las portadoras ópticas sin un filtro óptico adicional. Se puede introducir un desplazamiento entre una frecuencia central de una portadora óptica y un pico de banda de paso del multiplexor correspondiente con el fin de lograr la supresión de la portadora óptica y generar bandas laterales desequilibradas. El filtro óptico 720 puede ponerse en práctica para generación de banda lateral desequilibrada y supresión de portadora óptica de modo que se proporcione más flexibilidad en un diseño de filtro en términos de relaciones OCSPR y SSSR.

La Figura 8 describe una forma de realización de un método 800 de generación de bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos de separación y supresión de portadora por intermedio de un filtrado óptico para un IM-Tx de múltiples longitudes de onda. El método 800 puede iniciarse con una entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda 810 en una entrada de un filtro óptico (p.ej., filtro óptico 720 de la Figura 7) en el dominio de la frecuencia. La entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda 810 puede incluir una pluralidad de portadoras no suprimidas 811, una pluralidad de bandas laterales rojas 812, y una pluralidad de bandas laterales azules 813. El filtro óptico puede incluir una curva de respuesta de filtro óptico 820 para suprimir una pluralidad de bandas laterales no deseadas (p.ej., una combinación de la pluralidad de bandas laterales rojas 812 y bandas laterales azules 813) y la pluralidad de portadoras no suprimidas 811.

La curva de respuesta de filtro 820 puede incluir una pluralidad de picos de transmisión de filtro (p.ej., desplazamiento de pico de transmisión de filtro 822) y una pluralidad de supresiones de portadora (p.ej., supresión de portadora 826). Cada uno de entre la pluralidad de desplazamientos de pico de transmisión de filtro puede representar un cambio de un pico de transmisión de filtro procedente de una frecuencia central de portadora a una frecuencia central de banda lateral deseada. De este modo, cada una de la pluralidad de portadoras no suprimidas 811 y cada una de la pluralidad de bandas laterales no deseadas puede caer en una respuesta de amplitud más baja de la curva de respuesta de filtro óptico 820 que cada una de entre la pluralidad de bandas laterales deseadas. En el método 800, una señal óptica IM de múltiples longitudes de onda filtrada puede ser una salida del filtro óptico después de que la entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda 810 pase a través del filtro óptico. En el método 800, el filtro óptico puede incluir, además, un FSR 840, que puede ser igual a un espaciamiento de canal

de entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda 810. Según se describe en la Figura 8, cada uno de entre la pluralidad de portadoras no suprimidas 811, puede situarse en una respuesta de amplitud inferior de la curva de respuesta de filtro óptico 820. De este modo, cada una de entre la pluralidad de bandas laterales azules 813 puede ser retenida al mismo tiempo que cada una de entre la pluralidad de bandas laterales rojas 812 puede ser objeto de supresión. El método 800 puede ser preferido cuando la entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda 810 tiene un sobreimpulso de frecuencia positivo (p.ej., un IM-DML).

Como alternativa, cada uno de los desplazamientos de pico de transmisión de filtro 822 puede desplazarse a una frecuencia central de banda lateral roja 812 correspondiente. De este modo, cada una de entre la pluralidad de portadoras no suprimidas 811 y cada una de la pluralidad de bandas laterales azules 813 pueden caer en una respuesta de amplitud inferior de la curva de respuesta de filtro óptico 820 que la de cada una de la pluralidad de bandas laterales rojas 812. Esta forma de realización puede ser preferida cuando una entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda 810 tiene un sobreimpulso de frecuencia negativo.

En otra forma de realización, este método puede cubrir un escenario operativo en donde algunos canales de entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes 810 pueden estar situados a una parte de más baja frecuencia de la curva de respuesta de filtro óptico 820, mientras que otros canales pueden estar situados en la parte superior de la frecuencia. Lo que antecede puede proporcionar alguna flexibilidad para ambos canales con limitación de sintonización de longitud de onda y cuando distintos canales muestran diferentes características de sobreimpulso de frecuencia. Cuando ninguno de los canales de entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda 810 experimenta un sobreimpulso de frecuencia, puede no existir ninguna preferencia en cuanto a cuál de las bandas laterales correspondientes ha de retenerse.

La Figura 9 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor IM-Tx 900 configurado para generar una señal óptica con bandas laterales ópticas desequilibradas, separadas por intervalos, y proporcionar un bloqueo de longitud de onda. Un transmisor IM-Tx 900 puede incluir un SCM-Tx 910 y un filtro óptico 920, que puede ser similar al transmisor SCM-Tx 210 y filtro óptico 220 de la Figura 2, respectivamente. El SCM-Tx 910 puede incluir el bloque de datos SCM 912 y el modulador IM E/O 914, que puede ser similar al bloque de datos SCM 212 y al modulador IM E/O 214, respectivamente. El IM-Tx 900 puede incluir, además, un divisor antes del filtro 940, un primer fotodetector 945, un divisor después del filtro 950, un segundo fotodetector 955 y una unidad de control 960, que pueden permitir el bloqueo de longitud de onda. El divisor antes del filtro 940 puede estar configurado para dividir una señal óptica IM recibida desde el SCM-Tx 910, para dirigir una parte de la señal óptica IM hacia el primer fotodetector 945, y dirigir una parte de la señal óptica IM al filtro óptico 920. El divisor después del filtro 950 puede estar configurado para dividir una señal óptica IM filtrada recibida desde el filtro óptico 920, dirigir una parte de la señal óptica IM filtrada a un segundo fotodetector 955 y dirigir una parte de la señal óptica IM filtrada hacia una salida. El primer fotodetector 945 puede estar configurado para realizar una conversión óptica a eléctrica (O/E) sobre la señal óptica IM y emitir, a la salida, una primera señal de bloqueo de la longitud de onda a la unidad de control 960. El segundo fotodetector 955 puede estar configurado para realizar una conversión O/E en la señal óptica IM filtrada y emitir, a la salida, una segunda señal de bloqueo de longitud de onda a la unidad de control 960. La unidad de control 960 puede configurarse para proporcionar, a la salida, una señal de corrección de bloqueo de longitud de onda al modulador IM E/O 914 sobre la base de las primera y segunda señales de bloqueo de longitud de onda. La señal de corrección de bloqueo de longitud de onda se puede utilizar por el modulador 914 de IM E/O para controlar su temperatura y bloquear una longitud de onda de una portadora óptica. En una forma de realización, el primer fotodetector 945 y el segundo fotodetector 955 pueden conectarse, directamente, al divisor antes del filtro 940 y al divisor después del filtro 950, respectivamente, a través de intervalos ópticos libres. Una parte óptica de un dispositivo de bloqueo de longitud de onda, de modo escalonado, puede ponerse en práctica mediante esta forma de realización.

La Figura 10 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un IM-Tx de múltiples longitudes de onda 1000 configurado para generar una pluralidad de señales ópticas de múltiples longitudes de onda, de portadora suprimida, con intervalos de separación, con bandas laterales ópticas desequilibradas, y proporcionar un bloqueo de longitud de onda. El IM-Tx de múltiples longitudes de onda 1000 puede incluir un SCM-Tx de múltiples longitudes de onda 1010 y un filtro óptico 1020, que puede ser similar al SCM-Tx de múltiples longitudes de onda 710 y a un filtro óptico 720, respectivamente. El IM-Tx de múltiples longitudes 1000 puede incluir, además, un armario de longitud de onda que comprende un divisor antes del filtro 1040, un primer fotodetector 1045, un divisor después del filtro 1050, un segundo fotodetector 1055 y una unidad de control 1060, que pueden permitir el bloqueo de longitud de onda. El divisor antes del filtro 1040 puede estar configurado para dividir una entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda que se recibe desde el multiplexor 1015, dirigir una parte de la entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda al primer fotodetector 1045 y dirigir una parte de la entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda a un filtro óptico 1020. La entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda puede incluir una pluralidad de señales de tono piloto de baja frecuencia. Cada una de la pluralidad de señales de tono piloto puede identificar un canal y su correspondiente modulador IM-E/O 1014. El divisor después del filtro 1050 puede estar configurado para dividir una señal óptica IM de múltiples longitudes de onda filtrada recibida desde el filtro óptico 1020, para dirigir una parte de la señal óptica IM de múltiples longitudes de onda filtrada a un segundo fotodetector 1055, y dirigir una parte de la señal óptica IM filtrada de múltiples longitudes de onda a una salida. El primer fotodetector 1045 puede configurarse para realizar la conversión O/E en la entrada de señal óptica IM de

múltiples longitudes de onda y proporcionar, a la salida, una primera señal de bloqueo de longitud de onda a una unidad de control 1060. El segundo fotodetector 1055 puede estar configurado para poner en práctica una conversión O/E sobre la señal óptica IM de múltiples longitudes de onda filtrada, y proporcionar, a la salida, una segunda señal del bloqueo de longitud de onda a la unidad de control 1060. La unidad de control 1060 puede estar configurada para proporcionar, a la salida, una señal de corrección de bloqueo de longitud de onda para cada uno de la pluralidad de moduladores IM-E/O 1014, sobre la base de las primera y segunda señales de bloqueo de longitud de onda. Cada uno de la pluralidad de moduladores IM-E/O 1014 puede identificar un canal correspondiente de señal de corrección de bloqueo de longitud de onda mediante la una señal oscilante identificadora correspondiente para el respectivo modulador IM-E/O, con el fin de controlar su temperatura y bloquear la longitud de onda de su portadora óptica.

En una forma de realización, se puede utilizar un método de multiplexación en el dominio del tiempo (TDM) para realizar el bloqueo de la longitud de onda para cada uno de la pluralidad de moduladores IM-E/O 1014. En esta forma de realización, una señal oscilante identificadora n que corresponde a un modulador IM-E/O n , se puede asignar a un intervalo de tiempo t_n . El dispositivo de bloqueo de longitud de onda puede detectar una longitud de onda portadora λ_n , correspondiente al modulador IM-E/O n , sobre la base del reconocimiento de la una señal oscilante identificadora n y proporcionar instrucciones al transmisor IM-Tx n para sintonizar su longitud de onda portadora λ_n a una longitud de onda objetivo. Lo que antecede puede repetirse para un intervalo de tiempo subsiguiente t_{n+1} que corresponde al modulador IM-E/O $n+1$, y así sucesivamente hasta que cada uno de la pluralidad de moduladores IM-E/O 1014 hayan sido bloqueados en longitud de onda como resultado. En otra forma de realización, el filtro óptico 1020 puede ser cualquier filtro interferométrico con transmisión periódica (p.ej., un interferómetro multi-especular o dispuesto en cascada). Se puede diseñar un FSR de gama espectral libre de filtro óptico para que sea igual a un espaciamiento de canal de la entrada de señal óptica IM de múltiples longitudes de onda y/o un sub-armónico del espaciamiento de canales. Una forma de filtro del filtro óptico 1020 se puede determinar por la reflectancia superficial del filtro, el ángulo de incidencia, y/o el número de espejos en base a una relación de supresión requerida de las bandas laterales no deseadas.

La Figura 11 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor MZM Tx 1100 configurado para generar una señal óptica con intervalos de separación y bandas laterales ópticas desequilibradas (p.ej., la señal óptica 100 de la Figura 1). El MZM Tx 1100 puede incluir un bloque de datos digitales SCM 1110, un láser de CW 1121, que puede ser similar al láser de CW 321 de la Figura 3B, un bloque de transformada de Hilbert 1130, un primer dispositivo combinador 1140, un segundo dispositivo combinador 1145, bloques 1151 y 1152 de convertidor digital a analógico (DAC), y un DD-MZM 1160. El bloque de datos digitales SCM 1110 puede ser similar al bloque de datos SCM 212, excepto por el hecho de que el bloque de datos digitales SCM 1110, solamente puede generar una señal eléctrica SCM utilizando técnicas DSP. En una forma de realización, el bloque de datos digitales SCM 1110 puede realizar un mapeo de datos para formatos de nivel superior. La señal eléctrica SCM puede reenviarse a una entrada del bloque de transformada de Hilbert 1130, una entrada del primer dispositivo combinador 1140 y después de pasar a través de una operación negativa, proporcionar una entrada del segundo dispositivo combinador 1145. El bloque de transformada de Hilbert 1130 puede estar configurado para realizar una transformada de Hilbert sobre la señal eléctrica SCM y reenvía la señal eléctrica SCM transformada de Hilbert a una entrada del primer dispositivo combinador 1140 y del segundo dispositivo combinador 1145. El primer dispositivo combinador 1140 puede configurarse para combinar la señal eléctrica SCM y la señal eléctrica SCM transformada de Hilbert en una primera señal eléctrica combinada SCM que ha reenviarse a los bloques DAC 1151. La primera señal eléctrica SCM combinada se puede transformar en una señal de activación del brazo superior después de ser procesada por el bloque DAC 1151 y reenviarse a un electrodo superior de DD-MZM 1160. El segundo dispositivo combinador 1145 puede estar configurado para combinar la señal eléctrica SCM (recibida a través de una operación negativa) y la señal eléctrica SCM transformada de Hilbert en una segunda señal eléctrica SCM combinada que ha de reenviarse al bloque DAC 1152. La segunda señal eléctrica SCM combinada puede transformarse en una señal de activación del brazo inferior después de ser procesada por el bloque DAC 1152 y reenviarse a un electrodo inferior de DD-MZM 1160. En una forma de realización, las señales de impulsión del brazo superior e inferior pueden pasar a través de amplificadores eléctricos y/o controladores (no ilustrados) entre su respectivo bloque DAC y DD-MZM 1160. Se puede establecer una tensión de polarización del electrodo superior del DD-MZM 1160 para introducir un cambio de

fase $a - \frac{\pi}{4}$ mientras que se puede configurar una tensión de polarización del electrodo inferior para introducir un

cambio de fase $a \frac{\pi}{4}$ El DD-MZM 1160 puede configurarse para modular una portadora óptica del láser CW 1121 con la señal de activación del brazo superior y la señal de activación del brazo inferior. DD-MZM 1160 puede proporcionar, a la salida, una señal óptica SCM que comprende una portadora óptica con dos bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos. Una banda lateral no deseada de la señal óptica SCM puede tener una intensidad débil a la salida del DD-MZM 1160 que puede dar como resultado una tasa SSSR grande y ser semejante a una señal de banda lateral única con una portadora óptica. Sin embargo, si las tensiones de polarización para los electrodos superior e inferior no están ajustadas correctamente, la banda lateral no deseada de la señal óptica SCM puede aumentar en intensidad. En una forma de realización, las tensiones de modulación para los electrodos superior e inferior pueden tener que ser bajos con el fin de evitar componentes de orden superior, que pueden aumentar la relación OCSR de la señal óptica SCM. El MZM Tx 1100 puede incluir, además, un filtro óptico acoplado a la salida de DD-MZM 1160 para suprimir, de modo adicional, la portadora óptica y, en consecuencia,

5 aumentar la eficiencia energética. En otra forma de realización, el filtro óptico también puede proporcionar un bloqueo de longitud de onda para el láser CW 1121. El DD-MZM 1160 puede estar configurado, además, para generar señales ópticas SCM de múltiples longitudes de onda que incluyen portadoras suprimidas con bandas laterales desequilibradas y separada por intervalos.

5 La Figura 12 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor I/Q-Tx 1200 configurado para generar una señal óptica con bandas laterales ópticas desequilibradas y separada por intervalos (p.ej., la señal óptica 100 de la Figura 1). El I/Q-Tx 1200 puede incluir un bloque de datos digitales SCM 1210, que puede ser similar al bloque de datos digitales SCM 1110 de la Figura 11, un láser CW 1221, que puede ser similar al láser CW 321 de la Figura 3B, un bloque de transformada de Hilbert 1230, que puede ser similar al bloque de transformada de Hilbert 1130 de la Figura 11, bloques DAC 1251 y 1252, que pueden ser similares a los bloques DAC 1151 y 1152 de la Figura 11 respectivamente, y un modulador I/Q 1260. El modulador I/Q 1260 puede incluir dos MZMs secundarios (C-MZMs) y un MZM principal (P-MZM). El bloque de datos digitales SCM 1210 puede reenviar una señal eléctrica SCM a una entrada del bloque de transformada de Hilbert 1230 y el bloque de DAC 1251. El bloque de transformada de Hilbert 1230 puede enviar una señal eléctrica SCM transformada de Hilbert al bloque de DAC 1252. La señal eléctrica SCM puede transformarse en una señal de activación en fase después de ser procesada por el bloque DAC, y reenviarse a una entrada en fase del modulador I/Q 1260. La señal eléctrica SCM transformada de Hilbert puede transformarse en una señal de desplazamiento en cuadratura después de ser procesada por el bloque DAC y reenviarse a una entrada en cuadratura del modulador I/Q 1260. De este modo, la señal de activación en cuadratura es una transformada de Hilbert de la señal de activación en fase y, en consecuencia, no es independiente. En una forma de realización, las señales de impulsión en fase y en cuadratura pueden pasar a través de amplificadores eléctricos y/o controladores (no ilustrados) entre su respectivo bloque DAC y el modulador I/Q 1260. El modulador I/Q 1260 puede modular una portadora óptica procedente del láser CW 1221 con las señales de impulsión en fase y en cuadratura en los C-MZMs correspondientes. El modulador I/Q 1260 puede combinar las salidas de dos C-MZMs como una entrada al P-MZM, con un desplazamiento de fase $\pi/2$ que se introduce entre los canales en cuadratura y en fase, y genera una señal óptica SCM. La señal óptica de SCM puede incluir una portadora óptica con dos bandas laterales ópticas desequilibradas, con intervalos. Las bandas laterales desequilibradas se pueden generar por el I/Q-Tx 1200 mediante el desvío de ambos C-MZMs de un punto nulo. En una forma de realización, un punto de polarización preferido puede depender de una oscilación de impulsión de los canales en cuadratura y en fase y puede estar próximo al punto nulo. En esta forma de realización, la portadora óptica puede tener una intensidad similar a la de las bandas laterales ópticas. Además, al aumentar el punto de polarización preferido lejos del punto nulo se puede aumentar la OCSPPR, mientras que la disminución del punto de polarización preferido hacia el punto nulo puede reducir la OCSPPR. Una banda lateral no deseada de la señal óptica SCM puede tener una intensidad débil a la salida del modulador I/Q 1260 lo que puede tener como resultado una SSSR grande y asemejarse a una señal de banda lateral única con una portadora óptica.

40 La Figura 13 muestra curvas de cascada de Tasa Binaria de Error (BER) frente a relación de señal óptica a ruido (OSNR) para una banda lateral desequilibrada, con intervalos de separación y una simulación de transmisión de portadora óptica suprimida que se pone en práctica mediante la variación de tasas SSSRs. En la simulación ilustrada en la Figura 13, un transmisor óptico incluye un bloque de datos SCM que fue puesto en práctica utilizando una modulación CAP, en la que se utilizó un filtro Nyquist de coseno elevado de raíz cuadrada con un factor de desplazamiento de 0.15 como filtro CAP para la conformación de pulsos. El bloque de datos SCM introdujo un intervalo de separación entre un componente de corriente continua DC y una señal CAP mediante el ajuste de una frecuencia sub-portadora del filtro CAP. La señal CAP incluía una tasa de símbolos de 5 Gigabits por segundo (Gbaud/s) y un formato 16QAM, que daba como resultado una velocidad de línea de 20 Gigabits por segundo (Gb/s). Un demultiplexor óptico con un ancho de banda de 3 decibelios (dB) de 80 Gigahercios (GHz) y una frecuencia central ajustada a la frecuencia central de la portadora óptica elimina el exceso de ruido óptico del amplificador óptico. Un pico de transmisión de filtro del filtro CAP fue establecido a la frecuencia central de la portadora. El intervalo de separación para la simulación de la Figura 13 era aproximadamente igual a un ancho de banda de banda lateral B (p.ej., ancho de banda de banda lateral B 150 de la Figura 1) de la transmisión óptica. Un MZM con cero sobreimpulsos y polarizado en un punto de cuadratura (p.ej., MZM 335 de la Figura 3C) moduló una portadora óptica procedente de un láser CW con la señal eléctrica SCM recibida desde el bloque de datos SCM. Se utilizó un filtro escalonado con un FSR de 50 GHz para poner en práctica el filtro óptico para la generación de banda lateral desequilibrada con el desplazamiento del pico de transmisión del filtro establecido a 8 GHz. La reflectancia superficial del filtro escalonado fue variada con el fin de cambiar la pendiente de la curva de respuesta de filtro óptico para obtener una SSSR deseada. Se modificó un índice de modulación para compensar los cambios en el valor de OCSPPR resultante a partir de la variación de la reflectancia superficial del filtro escalonado con el fin de mantener una OCSPPR deseada. La relación OCSPPR deseada para esta simulación se estableció en 11.5 dB, mientras que la SSSR fue cambiada de 4.1 dB a 22.3 dB. Una tasa SSSR de 22.3 dB no se pudo conseguir, con facilidad, mediante el uso de un filtro escalonado y, en consecuencia, se utilizó un interferómetro Fabry-Perot multiespecular en lugar del filtro escalonado para esa parte de la simulación. El gráfico 1310 muestra las curvas de cascada de BER frente a OSNR para una transmisión BtB y el gráfico 1320 muestra las curvas de cascada de BER frente a OSNR después de una transmisión de fibra monomodo (SMF) de 80 kilómetros (km). Tal como se ilustra en el gráfico 1310, una OSNR requerida para una tasa BER dada aumenta a medida que aumenta la tasa SSSR para una transmisión BtB. En la transmisión BtB, la banda lateral no deseada y la banda lateral deseada están en fase y pueden contribuir, de forma constructiva, a la intensidad de la señal después de la fotodetección. Después de una transmisión SMF de 80

km, una SSSR inferior puede dar lugar a una mayor penalización de transmisión debido a la dispersión de fibra, lo que puede reducirse aumentando la tasa SSSR, tal como se muestra en el gráfico 1320. La simulación demostró que la penalización de transmisión inducida por dispersión de fibra puede ser insignificante para una SSSR de hasta 22.3 dB. Además, una relación ROSNR después de una transmisión SMF de 80 km para una SSSR de 5 dB puede estar alrededor de 26 dB a una tasa BER de $1e-3$ o aproximadamente 23 dB en una tasa BER de $1e-2$. Estas relaciones ROSNRs pueden conseguirse para un sistema de 80 km con uno o dos amplificadores ópticos, por lo que puede establecerse un límite superior para una SSSR de aproximadamente 5 dB.

La Figura 14 muestra curvas de cascada de BER frente a OSNR para una banda lateral desequilibrada, con intervalos de separación y una simulación de transmisión óptica de portadora suprimida que pone en práctica diversas relaciones OCSPRs. Un transmisor óptico, similar al transmisor óptico de la Figura 13 se usó para la simulación de la Figura 14 con el fin de generar una señal óptica SCM con bandas laterales con intervalos. Se utilizó un interferómetro Fabry-Perot de múltiples espejos con un FSR de 100 GHz y se estableció un desplazamiento de pico de transmisión de filtro a 8 GHz para un filtro óptico para generar bandas laterales desequilibradas. La reflectividad de dos espejos laterales y del espejo intermedio del filtro óptico se seleccionó de acuerdo con una pendiente aguda deseada de la curva de respuesta de filtro óptico para obtener una SSSR de 22.3 dB con un intervalo de separación de banda lateral aproximadamente igual a un ancho de banda de banda lateral B (p.ej., ancho de banda de banda lateral B 150 de la Figura 1). La relación OCSPR fue cambiada desde 4.0 dB a 17.0 dB para la simulación. La tasa SSSR era lo suficientemente grande como para hacer que la penalización de transmisión inducida por la dispersión de fibra fuera insignificante para el rango de relaciones OCSPR analizadas. El gráfico 1410 muestra las curvas de cascada de BER frente a OSNR para una transmisión de BtB y el gráfico 1420 muestra las curvas de cascada de BER frente a OSNR después de una transmisión SMF de 80 km. La simulación demostró que puede aumentar la relación ROSNR tanto para transmisiones BtB como para transmisiones SMF de 80 km a medida que aumenta la relación OCSPR. Además, una ROSNR después de una transmisión SMF de 80 km para una OCSPR de 15 dB puede ser inferior que 26 dB en una tasa BER de $1e-3$ o aproximadamente 23 dB en una tasa BER de $1e-2$. Ambas relaciones ROSNR pueden alcanzarse para un sistema de 80 km con uno o dos amplificadores ópticos, por lo que puede establecerse un límite superior para una OCSPR en +15 dB. De modo similar, un límite inferior para una OCSPR se puede establecer en -15 dB. Una OCSPR de menos de 0 dB puede no ser fácilmente realizable cuando se utiliza IM con filtrado óptico para generación de banda lateral desequilibrada ya que puede requerir una mayor supresión de la portadora y una pendiente muy pronunciada de la curva de respuesta de filtro óptico, lo que puede aumentar la pérdida de transmisión. Se puede realizar una OCSPR de menos de 0 dB cuando se utiliza la modulación I/Q para la generación de banda lateral desequilibrada ya que la tensión de polarización se establece entre un punto de polarización óptimo y un punto nulo de transmisión.

La Figura 15 muestra curvas de cascada de BER frente a OSNR para una simulación de transmisión óptica de banda lateral desequilibrada y separada por intervalos, que se pone en práctica mediante la variación de intervalos de separación de banda lateral. Se utilizó un transmisor óptico que incluye un modulador I/Q (p.ej., el modulador I/Q 1260 de la Figura 12) para la simulación de la Figura 15 con el fin de generar una señal SCM óptica con bandas laterales con intervalos. Se estableció una tasa SSSR suficientemente grande para hacer que la penalización de la transmisión inducida por la dispersión de fibra fuera insignificante, de modo que solamente fuera requerida una simulación de transmisión BtB. La relación OCSPR fue variada en adición del intervalo de separación de banda lateral debido a la dependencia entre los dos parámetros. El gráfico 1510 muestra las curvas de cascada de BER frente a OSNR para un caso de transmisión BtB con una SSSR de 38.4 dB y una OCSPR de 0.3 dB, que se realizó ajustando la tensión de polarización ligeramente por encima del punto nulo del modulador I/Q. La simulación demostró que aumentar el intervalo de separación de banda lateral desde 1.0 a 1.1 veces el ancho de banda de banda lateral solamente obtuvo una mejora insignificante de la relación ROSNR, tal como se muestra en el gráfico 1510. Además, el aumento del intervalo de separación de banda lateral por encima de 1.1 veces el ancho de banda de banda lateral, no tuvo como resultado una mejora de la ROSNR. Sin embargo, la disminución del intervalo de separación de la banda lateral desde 1.0 a 0.9 veces el ancho de banda de la banda lateral dio como resultado una degradación significativa de la ROSNR en una tasa BER del 0.1%. Por lo tanto, el intervalo de separación de la banda lateral debería ser lo suficientemente amplio, cuando la relación OCSPR es baja, para admitir una más fuerte interferencia inducida por la pulsación señal-signal (o sub-portadora-sub-portadora). El gráfico 1520 muestra las curvas de cascada BER frente a OSNR para un caso de transmisión BtB con una OCSPR superior de 11.6 dB, que se realizó ajustando la tensión de polarización más alejada del punto nulo de transmisión del modulador I/Q. La relación OCSPR más alta puede hacer que un transmisor óptico sea más tolerante con una reducción de intervalo de separación de banda lateral. Se demostró que una ROSNR relativamente alta, de aproximadamente 22 dB, en una BER de $1e-3$, debido a la alta OCSPR cuando el intervalo de separación de la banda lateral se estableció en 1.0 veces el ancho de banda de la banda lateral. La disminución del intervalo de separación de la banda lateral desde 1.0 a 0.8 veces el ancho de banda de la banda lateral, tuvo como resultado, solamente, una ligera degradación de la relación ROSNR. La disminución adicional del intervalo de separación de la banda lateral degradaba aún más la ROSNR. Sin embargo, todavía se podía obtener una ROSNR de aproximadamente 27 dB en una BER de $1e-3$ con un intervalo de separación de banda lateral de 0. Se podía obtener una relación ROSNR de menos de 26 dB en una BER de $1e-3$ cuando un intervalo de separación de banda lateral es de 0.1 veces el ancho de banda de la banda lateral. De este modo, se puede establecer un límite inferior para un intervalo de separación de banda lateral de 0.1 veces el ancho de banda de banda lateral.

Al menos algunas de las características/métodos aquí descritos pueden ponerse en práctica en un elemento de red (NE). A modo de ejemplo, las características/métodos de la idea inventiva pueden ponerse en práctica utilizando hardware, firmware y/o software instalado para ejecutarse en hardware. A modo de ejemplo, el elemento NE puede ser cualquier dispositivo que transporta datos a través de una red, p.ej., un conmutador, enrutador, puente, servidor, cliente, etc. La Figura 16 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un elemento NE 1600, que puede incluir un bloque de datos SCM 212, un modulador IM E/O 214, y/o un canal óptico 220. A modo de ejemplo, el elemento NE 1600 puede estar configurado para controlar sub-portadoras piloto y sus preámbulos.

El elemento NE 1600 puede incluir uno o más puertos de entrada o 'caras' acopladas a un transceptor (Tx/Rx) 1610, que puede ser transmisores, receptores o una de sus combinaciones. Un transceptor Tx/Rx 1610 puede estar acoplado a una pluralidad de puertos de flujo descendente 1620 para la transmisión y/o recepción de señales eléctricas SCM, con intervalos, desde otros nodos, un transceptor Tx/Rx 1610, acoplado a una pluralidad de puertos de flujo ascendente 1650 para la transmisión y/o recepción de señales eléctricas SCM, con intervalos, procedentes de otros nodos. Un procesador 1630 puede estar acoplado a los transceptores Tx/Rxs 1610 con el fin de procesar las señales eléctricas SCM, con intervalo y/o determinar los nodos a los que han de enviarse las señales eléctricas SCM, con huecos. El procesador 1630 puede incluir uno o más procesadores multi-núcleo y/o módulos de memoria 1640, que pueden funcionar como soportes de memorización de datos, memorias intermedias, etc. El procesador 1630 puede ponerse en práctica como un procesador general o puede ser parte de uno o más circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC) y/o DSPs. Los puertos de flujo descendente 1620 y/o los puertos de flujo ascendente 1650 pueden incluir componentes de transmisión y/o recepción de señales ópticas y/o eléctricas. El elemento NE 1600 puede incluir, además, un bloque plano de intervalo de separación de banda lateral programable (SSG) 1660. El bloque plano SSG programable 1660 puede estar configurado para poner en práctica funciones SSG, tales como una capa de aplicación o capa 3 (L3) en el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI), en donde los intervalos de separación de banda lateral pueden actualizarse sobre la base de una OCSRP actualizada. Dicha información SSG puede mantenerse en una tabla de contenido en el módulo de memoria 1640. El bloque plano SSG programable 1660 puede, a continuación, reenviar la información SSG actualizada a un bloque de datos SCM (p.ej., bloque de datos SCM 212 de la Figura 2). El bloque plano SSG programable 1660 puede ponerse en práctica utilizando software, hardware o ambos a la vez, y puede ser operativo sobre la capa de Protocolo Internet (IP) o capa 2 (L2) en el modelo OSI. El módulo de memoria 1640 puede incluir una memoria caché 1642 para la memorización temporal de información de intervalo de separación de banda lateral, p.ej., una Memoria de Acceso Aleatorio (RAM). Además, el módulo de memoria 1640 puede incluir un soporte de memorización a largo plazo 1644 para la memorización de contenido en un plazo relativamente largo, p.ej., una Memoria de Solamente Lectura (ROM). A modo de ejemplo, la memoria caché 1642 y la memorización a largo plazo 1644 puede incluir memorias de acceso aleatorio Dinámicas (DRAMs), discos de estado sólido (SSDs), discos duros o cualquiera de sus combinaciones. En particular, el módulo de memoria 1640 puede utilizarse para alojar las instrucciones para llevar a cabo el sistema y métodos descritos en este documento.

Debe entenderse que mediante la programación y/o carga de instrucciones ejecutables en el elemento NE 1600, al menos uno de entre los procesadores 1630, la memoria caché 1642 y la memorización a largo plazo 1644 es objeto de cambio, con lo que se transforma el elemento NE 1600, en parte, en una máquina o aparato particular, p.ej., una arquitectura de reenvío multi-núcleo, que tiene la nueva funcionalidad dada a conocer por la presente invención. Es fundamental para la ingeniería eléctrica y las técnicas de ingeniería de software que la funcionalidad que se puede poner en práctica cargando el software ejecutable en un ordenador, se pueda convertir en una puesta en práctica de soporte físico, según reglas de diseño bien conocidas. La toma de decisiones entre la ejecución de un concepto en software frente a hardware suele depender de las consideraciones de estabilidad del diseño y el número de unidades que han de producirse, en lugar de cualquier problema implicado en la traducción desde el dominio de software al dominio de hardware. En general, un diseño que aún está sujeto a cambios frecuentes, puede ser preferible su puesta en práctica en software, puesto que el retorno a la puesta en práctica en el modo de hardware es más costoso que la vuelta a un diseño de software. En general, un diseño que es estable, y que se producirá en gran volumen, suele ser preferida su puesta en práctica en hardware, a modo de ejemplo en un circuito ASIC, debido al hecho de que la gran magnitud de su producción en realizaciones en soporte físico puede ser menos costosa que la puesta en práctica de programas informáticos. A menudo, un diseño puede desarrollarse y probarse en una forma de software y luego transformarse, según reglas de diseño bien conocidas, en una puesta en práctica de hardware equivalente, en un circuito integrado específico de la aplicación, que conecta las instrucciones del programa informático. De la misma manera que una máquina controlada por un circuito ASIC nuevo es una máquina o aparato particular, un ordenador que ha sido programado y/o cargado con instrucciones ejecutables puede verse, igualmente, como una máquina o aparato particular.

Se describe al menos una forma de realización y las variaciones, combinaciones y/o modificaciones de las formas de realización y/o características de las formas de realización, hechas por un experto en esta técnica, caen dentro del alcance de la idea inventiva. Formas de realización alternativas que son el resultado de la combinación, integración y/o omisión de características de las formas de realización, caen también dentro del alcance de la idea inventiva. Cuando se especifiquen rangos o limitaciones numéricas, debe entenderse que tales rangos o limitaciones expresas incluyen rangos iterativos o limitaciones de magnitud similar que caen dentro de los rangos o limitaciones expresados explícitamente (p.ej., desde aproximadamente 1 a aproximadamente 10 incluye 2, 3, 4, etc.; mayor que 0.10 incluye 0.11, 0.12, 0.6, etc.). A modo de ejemplo, siempre que se da a conocer un margen numérico con un

límite inferior, R_l , y un límite superior, R_u , cualquier número que caiga dentro del margen se da a conocer específicamente. En particular, los siguientes números, que están incluidos dentro del margen, son específicamente dados a conocer: $R = R_l + k * (R_u - R_l)$, en donde k es una variable que va desde el 1 por ciento al 100 por ciento con un incremento de un 1 por ciento, es decir, k es 1 por ciento, 2 por ciento, 3 por ciento, 4 por ciento, 5 por ciento, ..., 50 por ciento, 51 por ciento, 52 por ciento, ..., 95 por ciento, 96 por ciento, 97 por ciento, 98 por ciento, 99 por ciento o 100 por ciento. Además, cualquier intervalo numérico definido por dos números R tal como se describió con anterioridad, es también, específicamente dado a conocer. El uso del término "opcionalmente" con respecto a cualquier elemento de una reivindicación significa que el elemento es requerido, o de forma alternativa, el elemento no es requerido, estando ambas alternativas dentro del alcance de la reivindicación. El uso de términos más amplios tales como comprende, incluye y tiene, han de entenderse como para proporcionar soporte para términos más restringidos tales como que consiste en, consiste esencialmente en, y comprende sustancialmente. En consecuencia, el alcance de protección no está limitado por la descripción expuesta anteriormente, sino que está definido por las reivindicaciones siguientes, incluyendo dicho alcance todos sus equivalentes de la materia objeto de las reivindicaciones. Todas y cada una de las reivindicaciones están incorporadas, además, como una descripción adicional en la memoria descriptiva, y dichas reivindicaciones son formas de realización de la presente idea inventiva. La discusión de una referencia en la memoria descriptiva no es una admisión de que esté relacionada con la técnica anterior, especialmente cualquier referencia que tenga una fecha de publicación posterior a la fecha de prioridad de esta solicitud. La descripción de todas las patentes, solicitudes de patentes y publicaciones citadas en la descripción se incorpora aquí por referencia, en la medida en que proporcionan ejemplos, procedimientos u otros detalles adicionales a la idea inventiva.

Aunque se han dado a conocer varias realizaciones en la presente descripción, debe entenderse que los sistemas y métodos descritos pueden ponerse en práctica en muchas otras formas específicas, sin desviarse, por ello, del espíritu o alcance de la presente descripción. Los presentes ejemplos deben considerarse como ilustrativos y no restrictivos, y la intención no debe limitarse a los detalles que se proporcionan en este documento. A modo de ejemplo, los diversos elementos o componentes pueden combinarse o integrarse en otro sistema o algunas características pueden omitirse o no implementarse.

Además, las técnicas, sistemas, subsistemas y métodos descritos e ilustrados en las diversas formas de realización como distintos o separados pueden combinarse o integrarse con otros sistemas, módulos, técnicas o métodos sin desviarse del alcance de la presente descripción. Otros elementos mostrados o descritos como acoplados o directamente acoplados, o que se comunican entre sí, pueden estar acoplados indirectamente o comunicarse a través de alguna interfaz, dispositivo o componente intermedio ya sea de forma eléctrica, mecánica o de cualquier otra forma. Otros ejemplos de cambios, sustituciones y modificaciones son verificables por un experto en la técnica y podrían realizarse sin desviarse del espíritu y el alcance aquí dados a conocer.

40

REIVINDICACIONES

1. Un aparato que comprende:

5 un transmisor (200, 900, 1000) configurado para:

la generación de una señal óptica que incluye una portadora modulada con al menos dos bandas laterales moduladas con información, en donde la información introduce un intervalo de separación en un dominio de la frecuencia, entre las bandas laterales y la portadora, en donde una de las bandas laterales es una banda lateral no deseada y la otra de las bandas laterales es una banda lateral deseada, y en donde las bandas laterales no están equilibradas debido al hecho de que la banda lateral deseada tiene una mayor intensidad de potencia que la banda lateral no deseada, antes de la transmisión;

15 en donde la portadora se genera por una fuente de luz, en donde la información se modula utilizando un formato de modulación multinivel, en donde la información incluye una señal de sub-portadora modulada - SCM y una componente de corriente continua - DC,

20 y en donde el intervalo de separación se introduce a través de un intervalo entre la señal SCM y la componente de corriente continua DC.

2. El aparato según la reivindicación 1, en donde la portadora está modulada mediante una modulación en intensidad - IM.

25 3. El aparato según la reivindicación 2, en donde la modulación IM introduce un sobreimpulso de frecuencia sobre la señal óptica, en donde la mayor intensidad de potencia de la banda lateral deseada se debe al sobreimpulso de frecuencia, y en donde la banda lateral no deseada requiere menos, o ninguna supresión.

30 4. El aparato según la reivindicación 2, que comprende, además, un filtro óptico acoplado al transmisor, que está configurado para transformar la señal óptica en una señal óptica filtrada, que incluye una portadora suprimida y una banda lateral no deseada suprimida.

5. El aparato según la reivindicación 4 que comprende, además:

35 un primer fotodetector (945, 1045);

un primer divisor (940, 1040) que interviene entre el transmisor y el filtro óptico, y está configurado para dirigir una parte de la señal óptica hacia el primer fotodetector y una parte hacia una entrada del filtro óptico;

40 un segundo fotodetector (955, 1055);

un segundo divisor (950, 1050), acoplado a una salida del filtro óptico y configurado para dirigir una parte de la señal óptica filtrada hacia el segundo fotodetector; y

45 una unidad de control (960, 1060), configurada para:

recibir una primera señal procedente del primer fotodetector y una segunda señal desde el segundo fotodetector;

generar una señal de bloqueo de longitud de onda sobre la base de la primera y la segunda señales; y

50 reenviar la señal de bloqueo de longitud de onda al transmisor, en donde la fuente de luz incluye una longitud de onda que se ajusta en respuesta a la señal de bloqueo de longitud de onda.

55 6. El aparato según la reivindicación 1, en donde la portadora está modulada con un modulador de doble electrodo Mach-Zehnder (DE-MZM), en donde una señal de activación de brazo superior del modulador DE-MZM incluye una combinación de la información y una transformada de Hilbert de la información, en donde una señal de activación de brazo inferior del modulador DE-MZM incluye la información eliminada a partir de la transformada de Hilbert de la información, y en donde la banda lateral no deseada se suprime en una salida del modulador DE-MZM.

60 7. El aparato según la reivindicación 1, en donde la portadora está modulada con un modulador en fase/cuadratura (I/Q), en donde una señal de activación en fase del modulador I/Q incluye la información, en donde una señal de activación en cuadratura del modulador I/Q incluye una transformada Hilbert de la información, y en donde la banda lateral no deseada se suprime en una salida del modulador I/Q.

65 8. El aparato según la reivindicación 1, en donde la portadora incluye una frecuencia central, incluyendo las bandas laterales un ancho de banda de 3 decibelios (dB), y en donde el intervalo de separación se define por un producto de un factor de escala y el ancho de banda de 3 dB.

9. Un aparato que comprende:

una pluralidad de transmisores, en donde cada uno de los transmisores es un transmisor de conformidad con cualquier reivindicación de entre las reivindicaciones 1 a 8; y

una señal oscilante identificadora, en donde dicha señal identifica, de forma única, el transmisor; y

un multiplexor acoplado a la pluralidad de transmisores, en donde cada una de las señales ópticas está centrada en una longitud de onda única, y en donde el multiplexor está configurado para transformar la pluralidad de señales ópticas en una señal óptica multiplexada.

10. El aparato según la reivindicación 9, en donde el multiplexor incluye una pluralidad de bandas de paso que corresponden a cada una de la pluralidad de señales ópticas, en donde cada una de entre la pluralidad de bandas de paso incluye una curva de respuesta de filtro, en donde la curva de respuesta de filtro incluye una respuesta de amplitud inferior, en una frecuencia central de la portadora que es una frecuencia central de la banda lateral deseada, y en donde la portadora y la banda lateral no deseada son suprimidas por la respuesta de amplitud inferior.

11. El aparato según la reivindicación 9 que comprende, además, un filtro óptico acoplado al multiplexor, y configurado para transformar la señal óptica multiplexada en una señal óptica multiplexada filtrada, que incluye una pluralidad de señales ópticas filtradas, en donde cada una de las señales ópticas filtradas comprende una banda lateral deseada retenida, una portadora suprimida y una banda lateral no deseada suprimida.

12. El aparato según la reivindicación 11 que comprende, además:

un primer fotodetector;

un primer divisor que interviene entre el multiplexor y el filtro óptico, configurado para dirigir una parte de la señal óptica multiplexada hacia el primer fotodetector, y una parte hacia una entrada del filtro óptico;

un segundo fotodetector;

un segundo divisor acoplado a una salida del filtro óptico, y configurado para dirigir una parte de la señal óptica multiplexada filtrada hacia el segundo fotodetector, y

una unidad de control configurada para:

recibir una primera señal procedente del primer fotodetector y una segunda señal procedente del segundo fotodetector;

generar una señal de bloqueo de longitud de onda para cada una de la pluralidad de transmisores, sobre la base de la señal oscilante identificadora, la primera señal y la segunda señal; y

reenviar la señal de bloqueo de longitud de onda a cada uno de la pluralidad de transmisores, en donde la fuente de luz incluye una longitud de onda que se ajusta en respuesta a la señal de bloqueo de longitud de onda.

13. Un método, que comprende:

la recepción de una portadora óptica procedente de una fuente de luz;

la modulación de la portadora óptica con al menos dos bandas laterales moduladas con información, en donde la información introduce un intervalo de separación en un dominio de la frecuencia entre las bandas laterales y la portadora óptica, siendo una de las bandas laterales una banda lateral no deseada y siendo otra de las bandas laterales una banda lateral deseada, y en donde las bandas laterales no están equilibradas debido al hecho de que la banda lateral deseada tiene una mayor intensidad de potencia que la banda lateral no deseada, antes de la transmisión; y

la supresión de la portadora con un filtro óptico, antes de la transmisión;

en donde la portadora se genera por una fuente de luz, estando la información modulada utilizando un formato de modulación multinivel, en donde la información incluye una señal de subportadora modulada – SCM - y una componente de corriente continua – DC -,

y en donde el intervalo de separación se introduce por intermedio de un intervalo entre la señal SCM y la componente de corriente continua DC.

14. El método según la reivindicación 13 que comprende, además:

la generación de una señal de bloqueo de longitud de onda sobre la base de muestras tomadas de la señal óptica antes y después del filtro óptico; y

5

el bloqueo de una longitud de onda de la fuente de luz, sobre la base de la señal de bloqueo de longitud de onda.

10

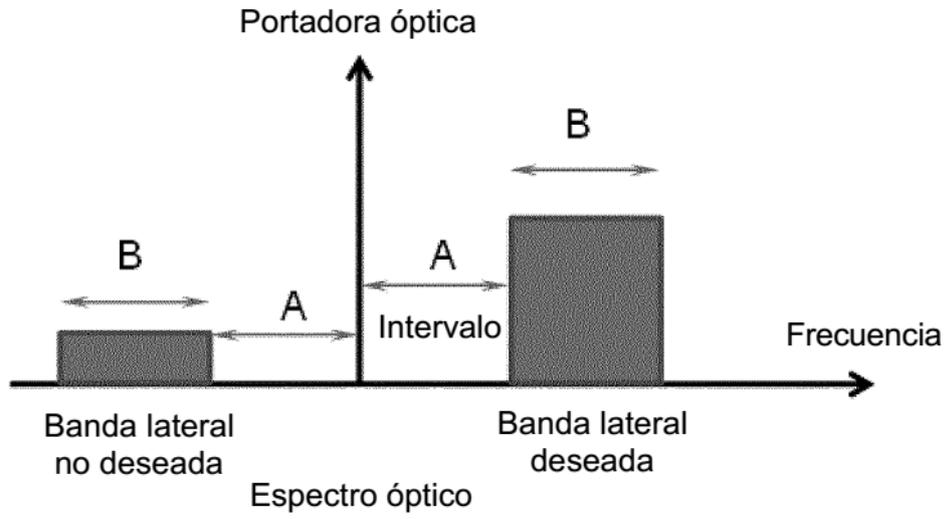


FIG. 1

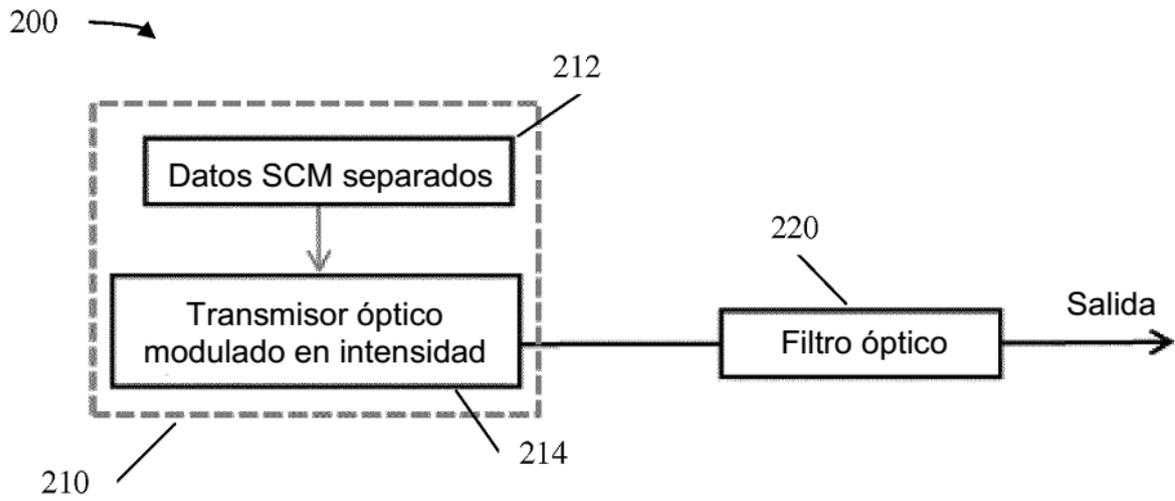


FIG. 2

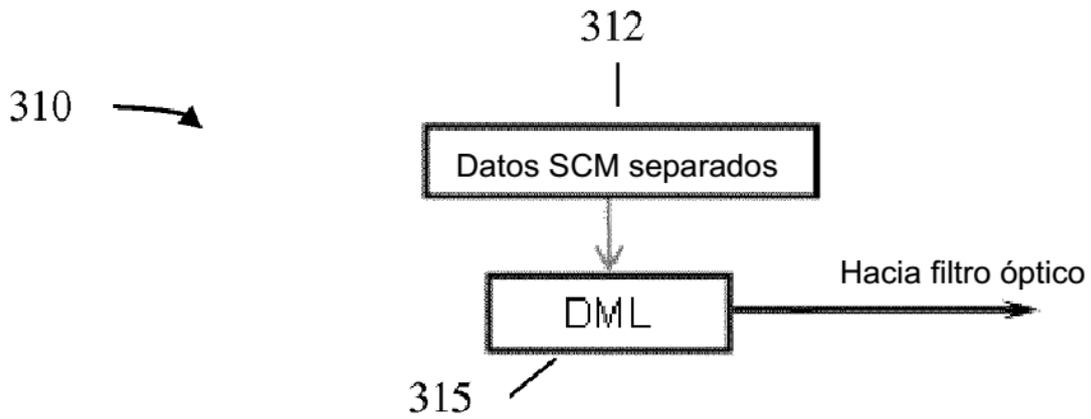


FIG. 3A

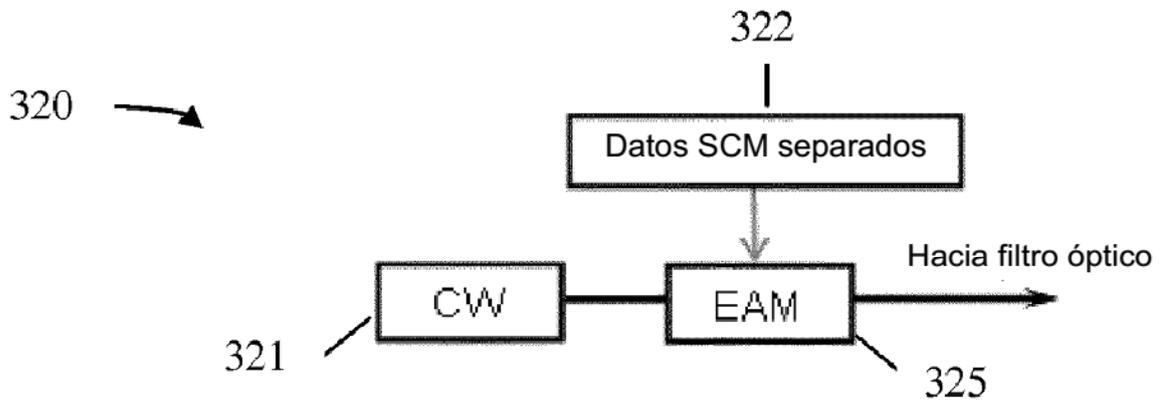


FIG. 3B

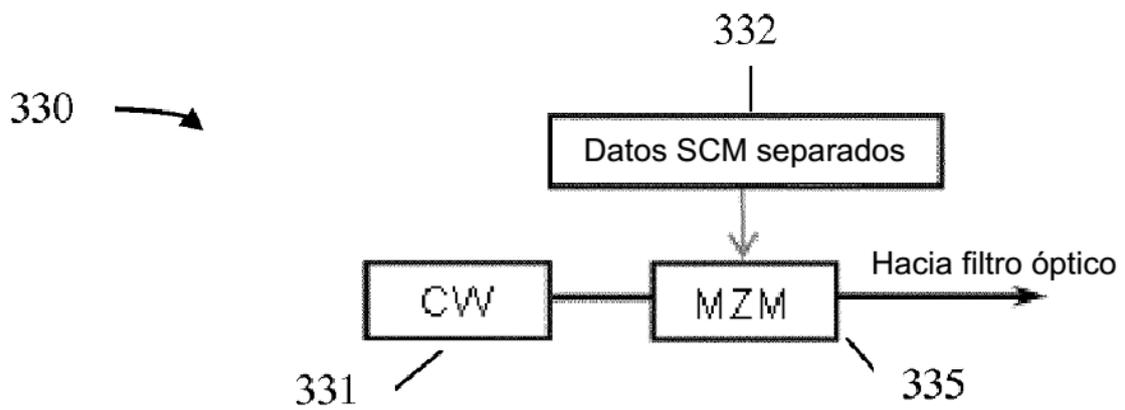


FIG. 3C

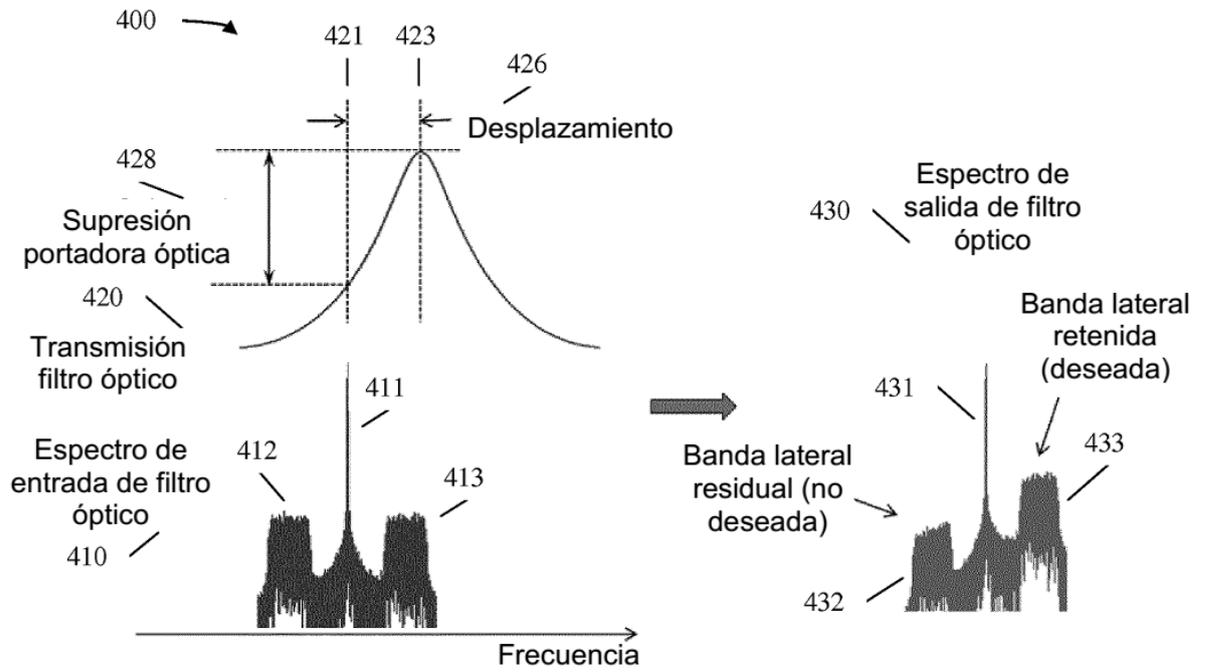


FIG. 4

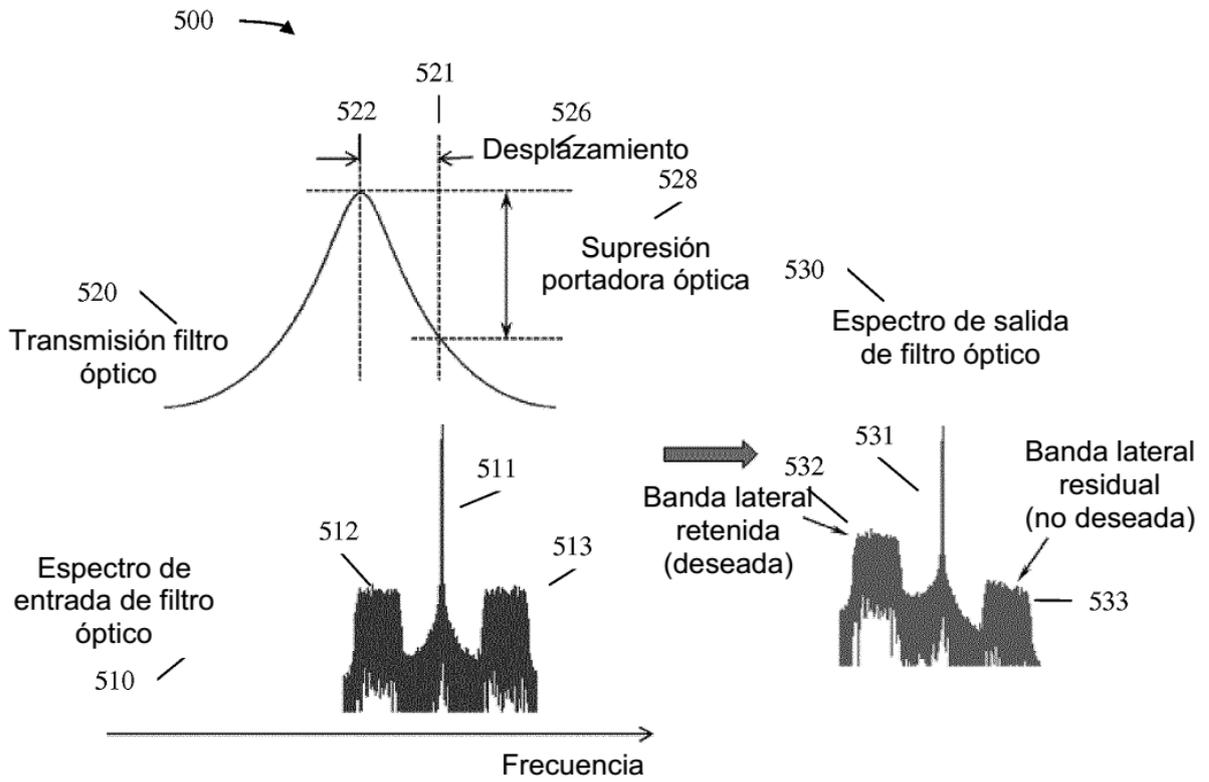


FIG. 5

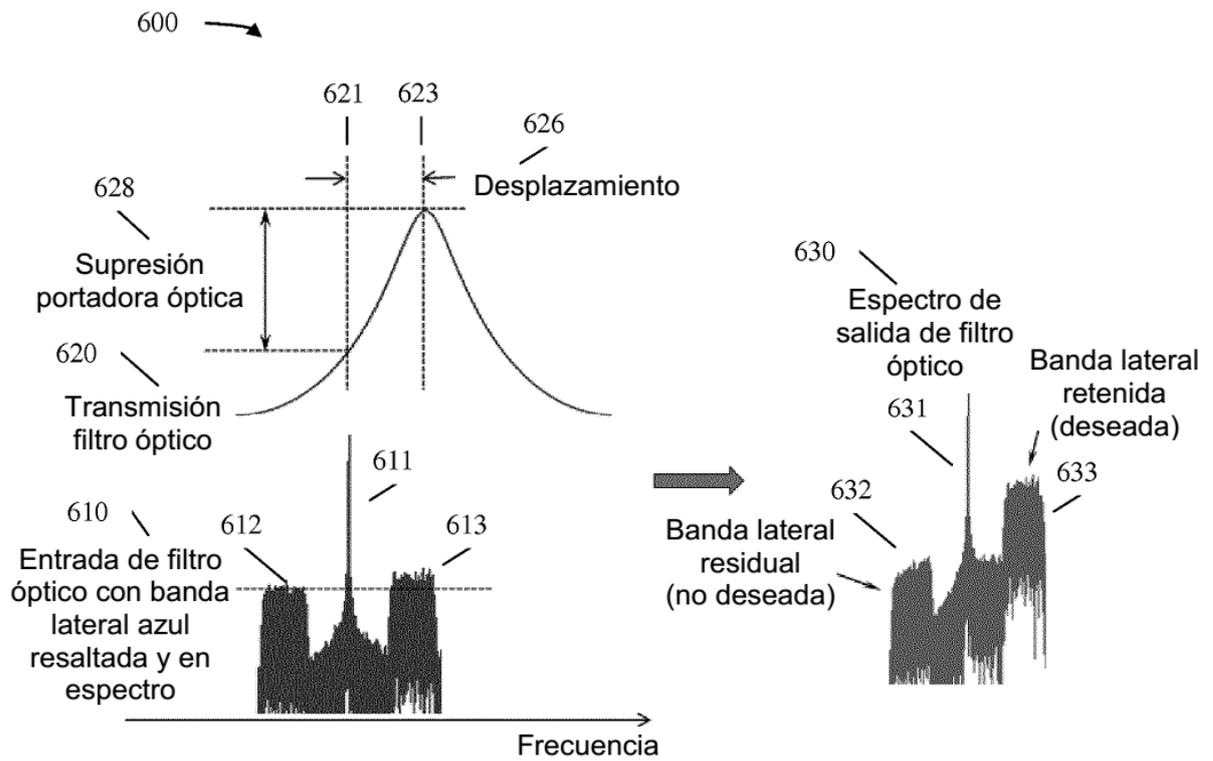


FIG. 6

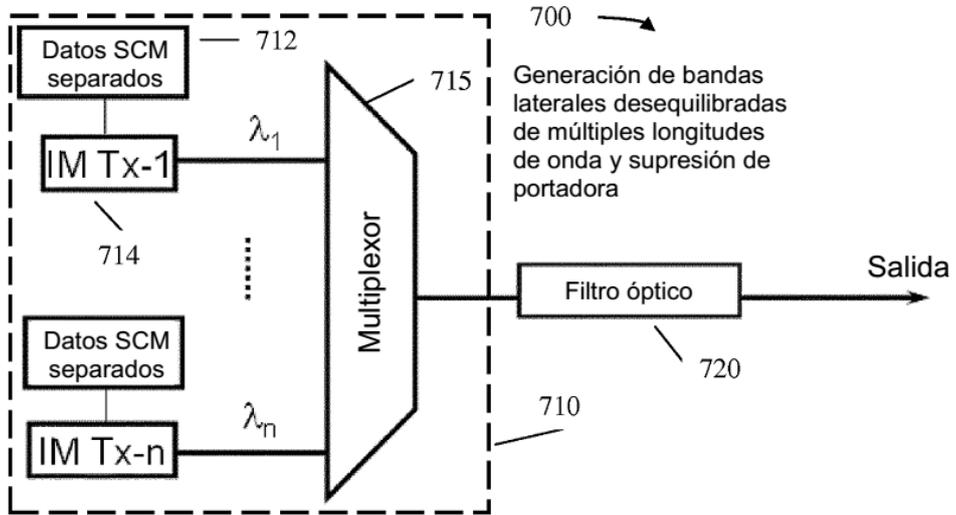


FIG. 7

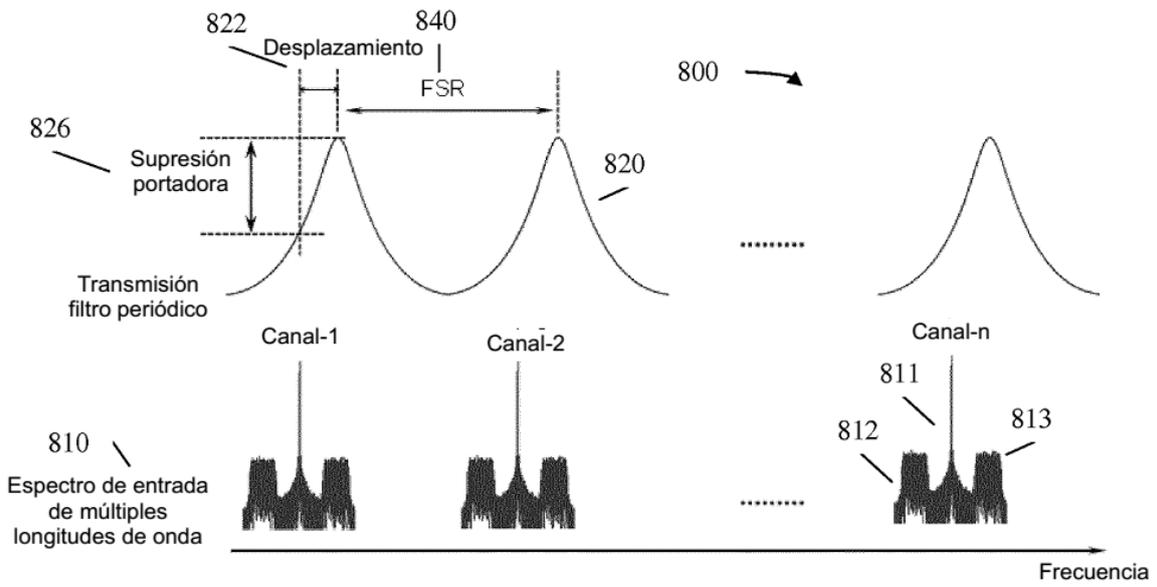


FIG. 8

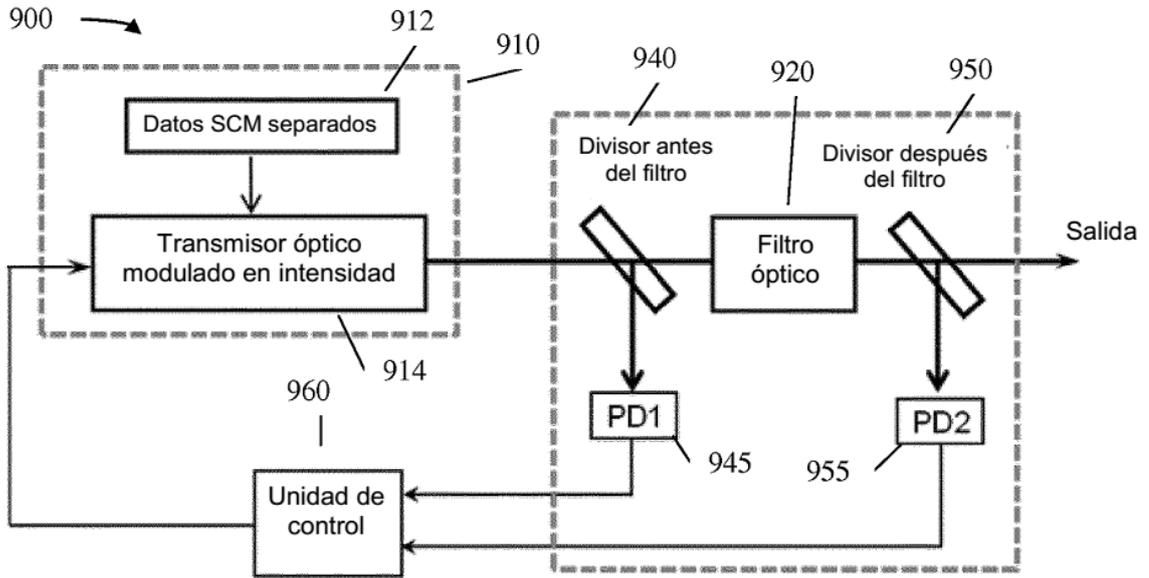


FIG. 9

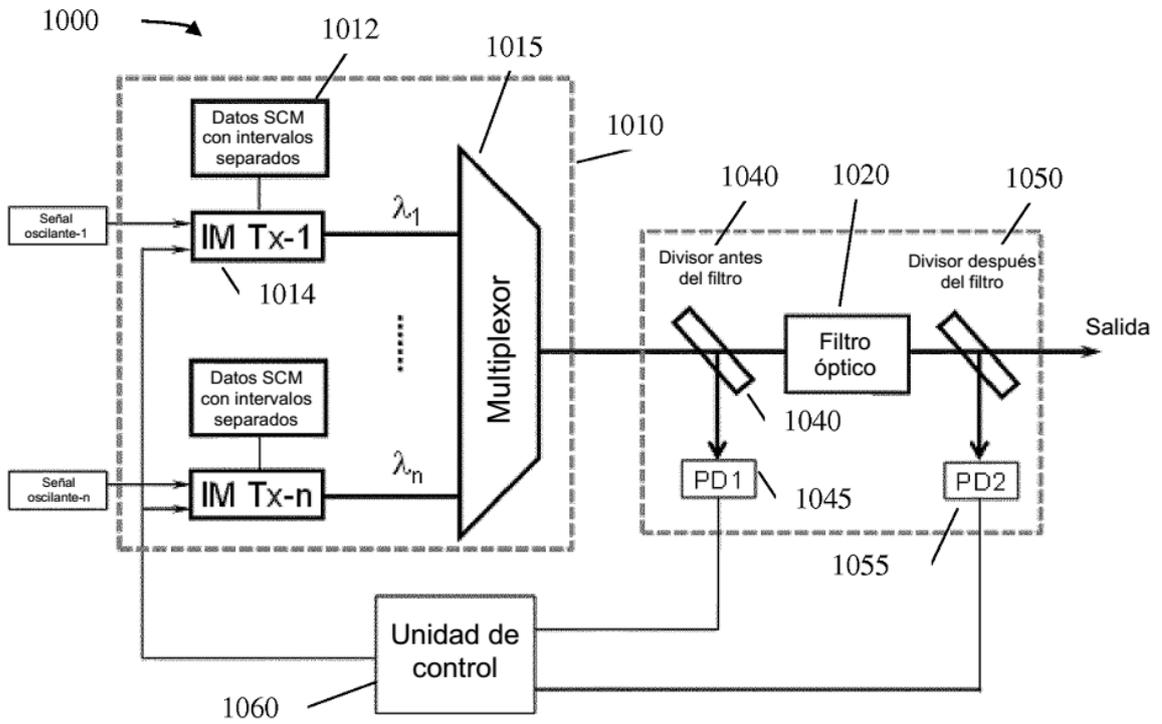


FIG. 10

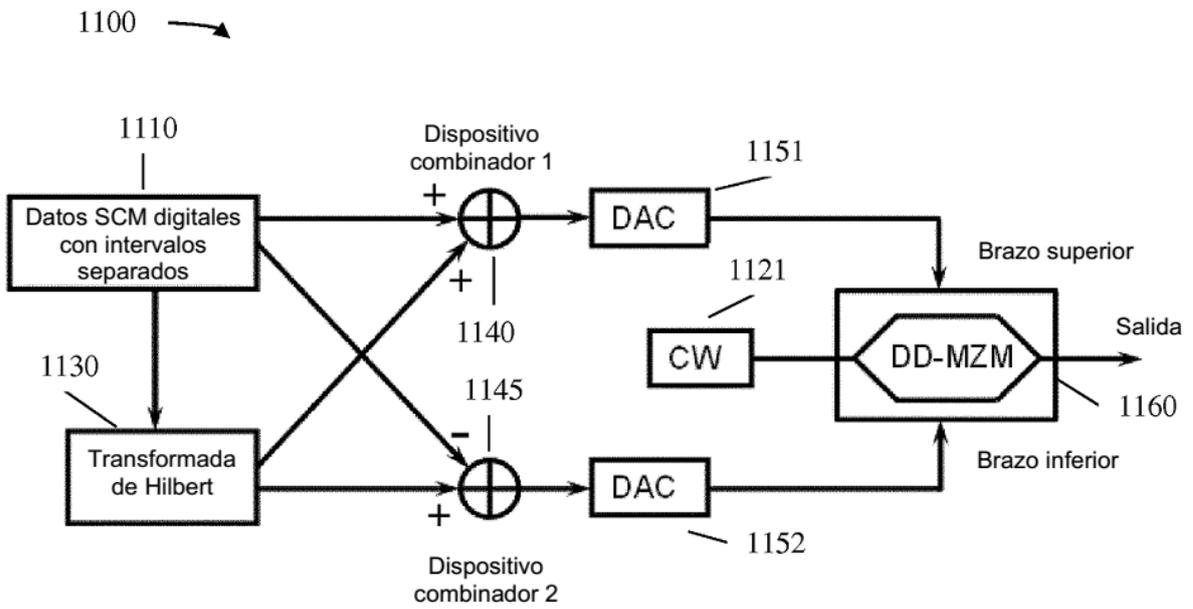


FIG. 11

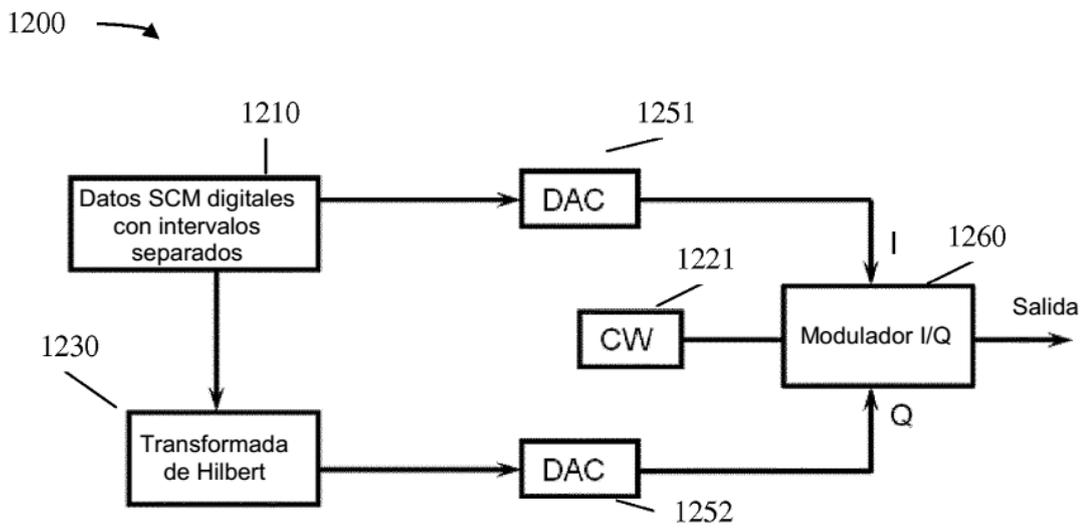
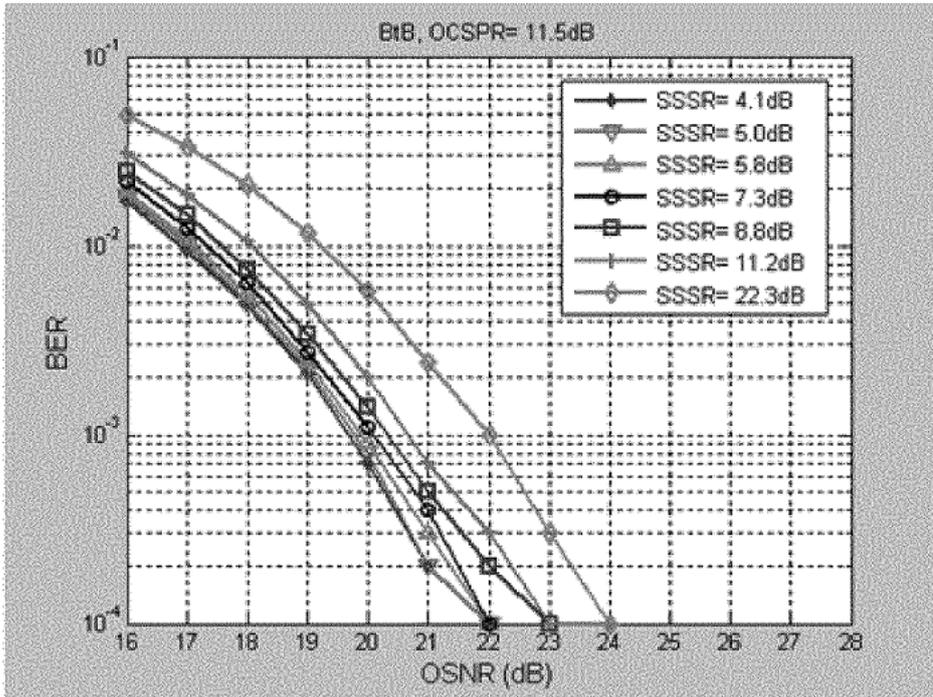
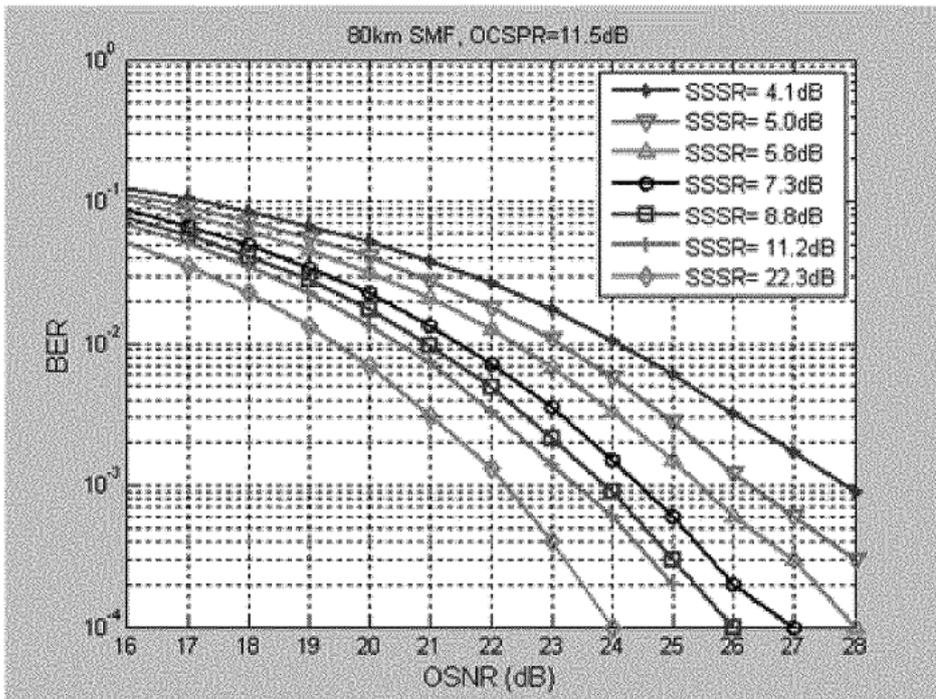


FIG. 12

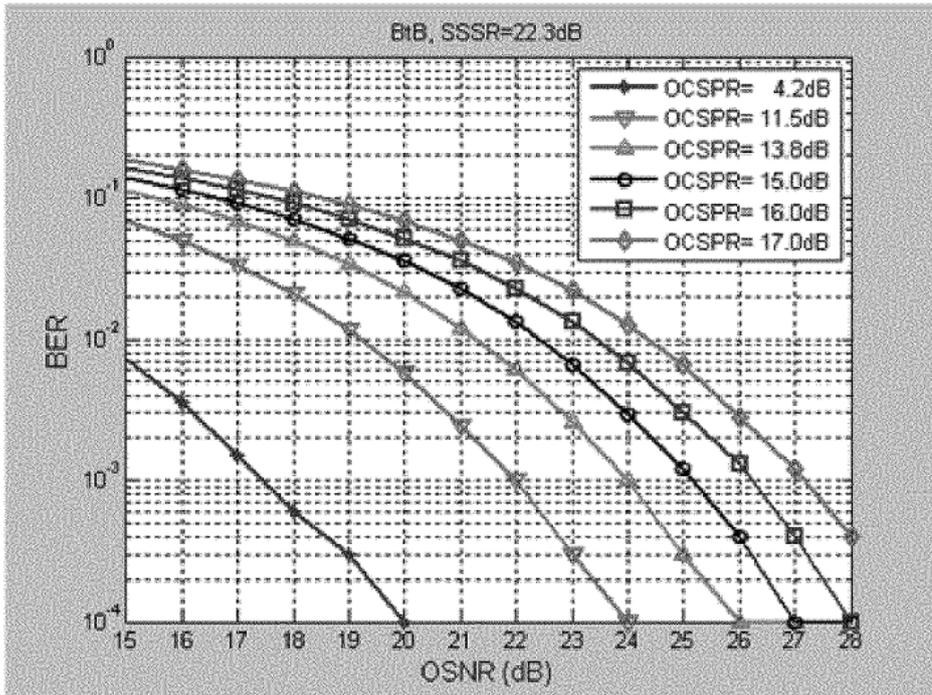


— 1310

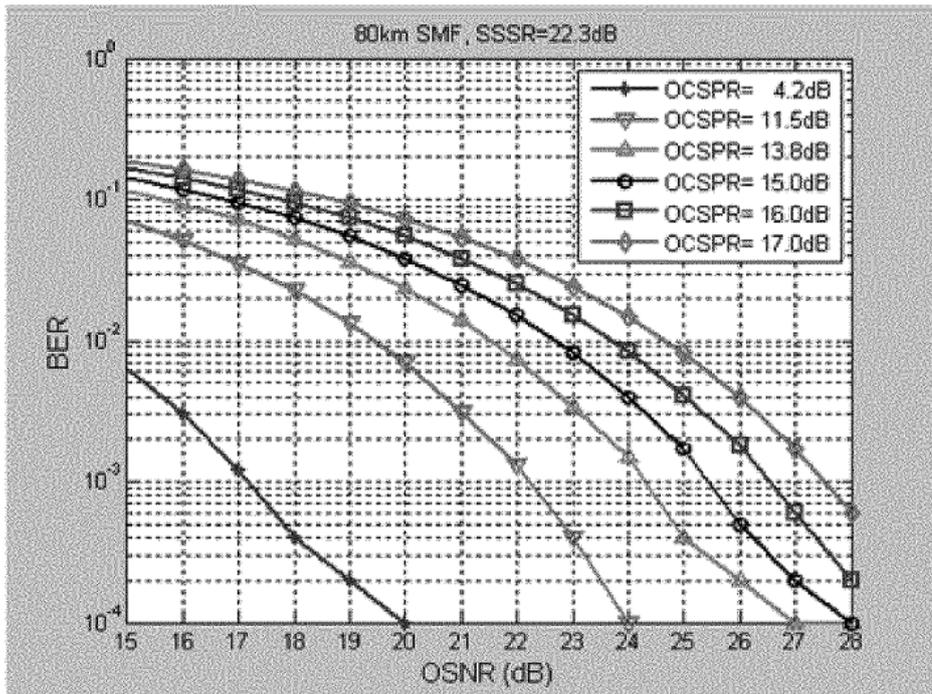


— 1320

FIG. 13

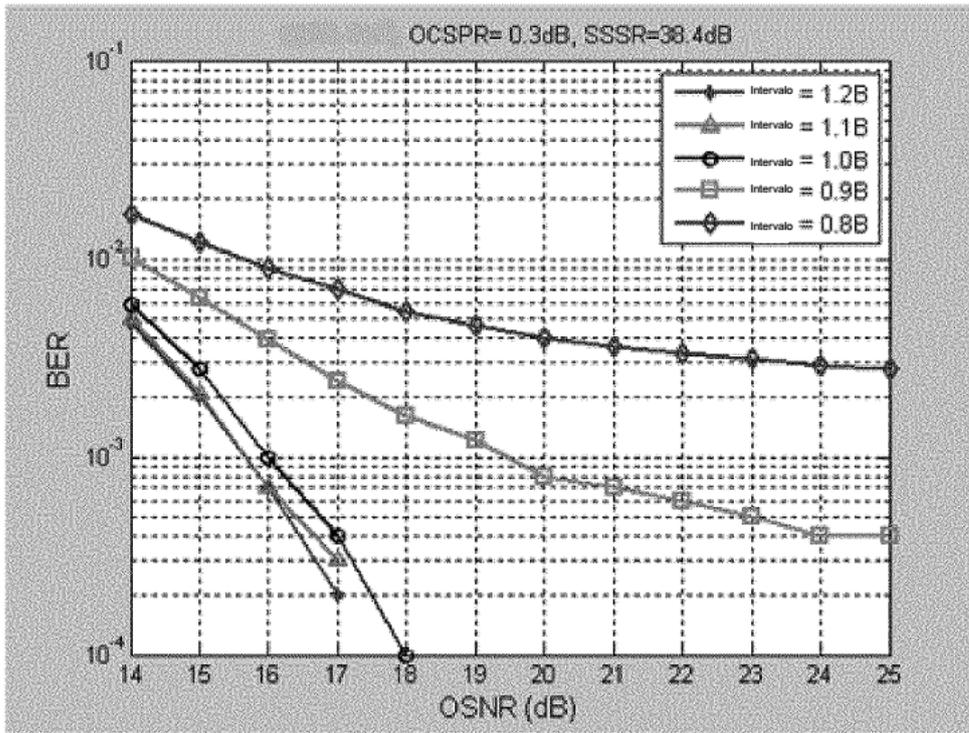


1410

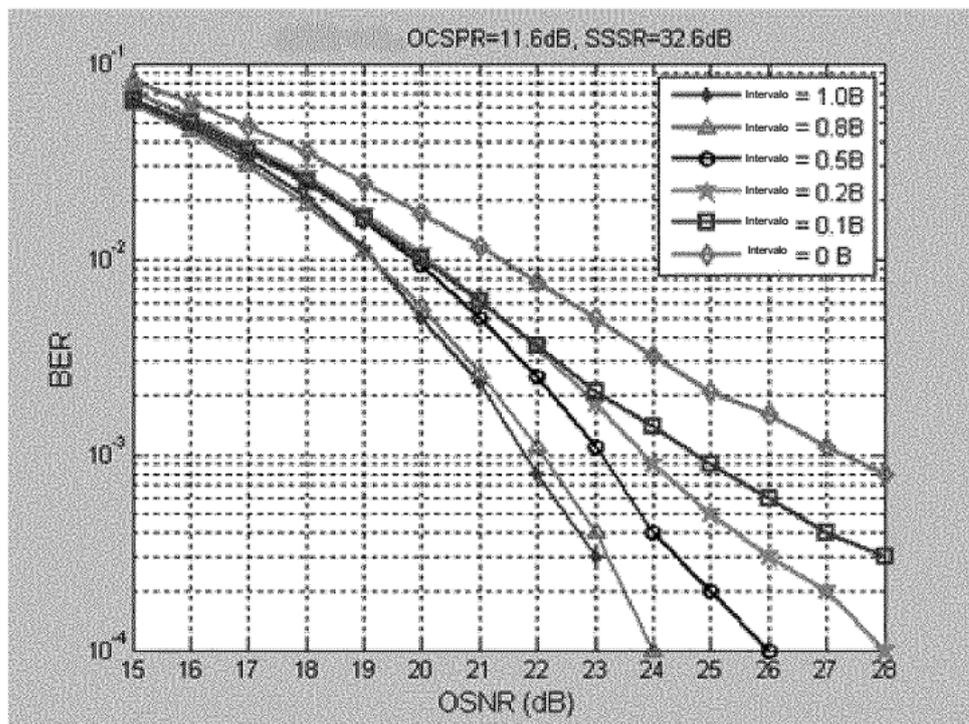


1420

FIG. 14



— 1510



— 1520

FIG. 15

1600

Elemento de red

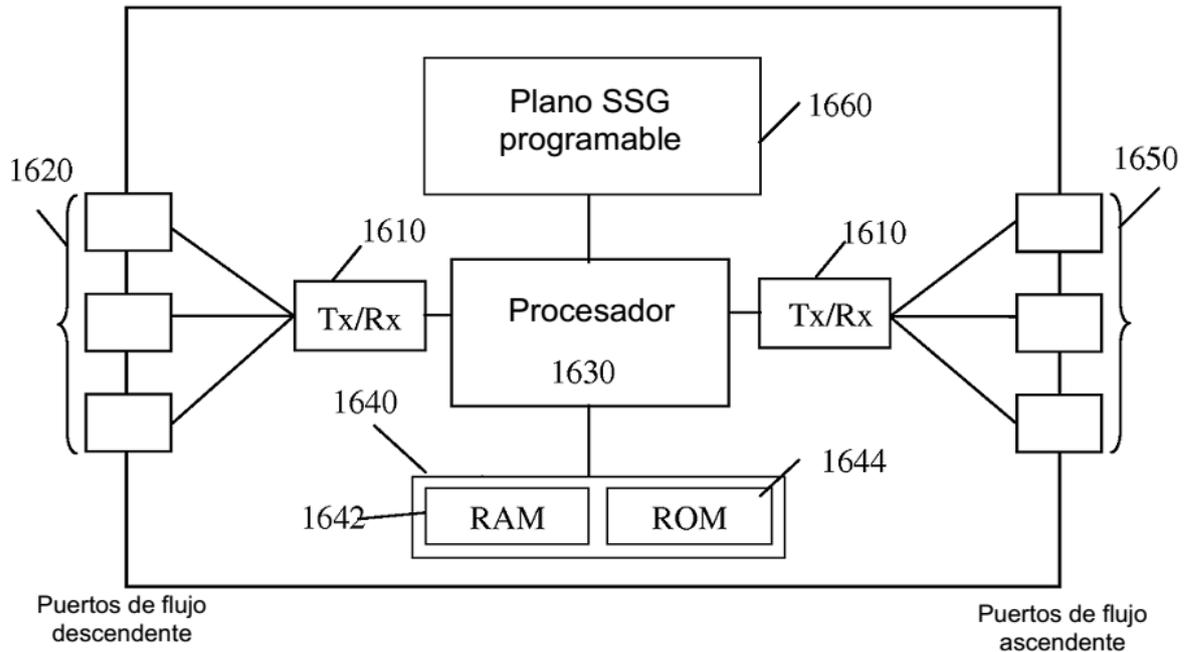


FIG. 16