

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 574**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/2513** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.05.2015 PCT/CN2015/079390**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2016 WO16050079**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2015 E 15847487 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 3189604**

54 Título: **Transmisor óptico con precompensación de dispersión específica de receptor óptico**

30 Prioridad:

**01.10.2014 US 201414503550**

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

**02.03.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LIU, XIANG y  
EFFENBERGER, FRANK**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 745 574 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

Transmisor óptico con precompensación de dispersión específica de receptor óptico

5 **CAMPO TÉCNICO**

La presente invención se refiere al campo de las comunicaciones ópticas y, en particular, a un transmisor óptico con precompensación de dispersión específica de receptor óptico.

10 **ANTECEDENTES**

Se pueden emplear redes de acceso óptico para proporcionar una amplia variedad de servicios, tales como fibra hasta el hogar (FTTH), fibra hasta el edificio (FTTB), conectividad empresarial, conectividad para negocios y *back-haul* (red de retroceso) y *front-haul* móviles para la comunicación inalámbrica de cuarta generación (4G) y/o de próxima generación. Las continuas demandas de mayores capacidades de red y una mayor cobertura de distancia plantean desafíos en los diseños actuales y futuros de redes de acceso óptico. Por ejemplo, el efecto de las deficiencias en la transmisión por fibra puede agravarse a medida que aumenta la velocidad de transmisión óptica y la distancia de transmisión. Las deficiencias en la transmisión por fibra pueden incluir dispersión cromática (CD), dispersión en modo de polarización (PMD), ruido de fase y efectos no lineales. Sin embargo, la CD puede ser uno de los factores que más limitan el rendimiento, especialmente para las transmisiones de alta velocidad a largas distancias.

La CD puede provocar que diferentes componentes espectrales (por ejemplo, longitudes de onda) en una señal óptica se desplacen a través de una fibra óptica a diferentes velocidades y lleguen a un receptor en diferentes instantes de tiempo (por ejemplo, con diferentes retardos), y por lo tanto puede ensanchar temporalmente los pulsos ópticos que transportan los datos y dar lugar a interferencias entre símbolos (ISI). Algunos sistemas pueden compensar la CD en una fibra empleando otra fibra de dispersión de signo opuesto, pero puede ser a expensas de una mayor pérdida, complejidad y coste. Recientes avances en convertidores de analógico a digital de alta velocidad (ADC), convertidores de digital a analógico de alta velocidad (DAC) y procesadores de señales digitales de alto rendimiento (DSP) han permitido compensar digitalmente las deficiencias de fibra óptica mediante DSP.

El efecto de dispersión experimentado por una señal óptica cuando se desplaza a través de un enlace de fibra óptica dado puede compensarse a través de una precompensación de dispersión en un transmisor en una cantidad que es nominalmente lo opuesto a la dispersión de enlace de fibra. Sin embargo, en las redes de acceso óptico típicas, el transmisor en un terminal de línea óptica (OLT) puede enviar bloques de señales multiplexadas por división de tiempo (TDM) a múltiples unidades de red óptica (ONU), que pueden estar ubicadas a diferentes distancias del OLT. Por lo tanto, los bloques TDM que están destinados a diferentes ONU pueden experimentar diferentes dispersiones de enlace de fibra y, por lo tanto, el OLT puede no emplear la misma precompensación de dispersión de fibra para todos los bloques TDM. Además, puede emplearse habitualmente detección directa (DD) en los receptores de las ONU, por lo que el transmisor del OLT puede requerir un esquema de precompensación de dispersión específica de receptor óptico que sea adecuado para los receptores DD.

El documento US 2004/197103 A1 da a conocer una distorsión de señal inducida de manera no lineal compensada mediante el procesamiento de una señal de comunicación de entrada en el dominio eléctrico antes de la conversión de eléctrico a óptico y la transmisión a través de un enlace óptico de un sistema de comunicaciones. Se determina un operador de compensación que mitiga sustancialmente las distorsiones de señal inducidas de manera no lineal impartidas a una señal óptica que atraviesa el sistema de comunicaciones. La señal de comunicación de entrada se introduce después en el operador de compensación para generar una señal eléctrica predistorsionada. Esta señal eléctrica predistorsionada se utiliza entonces para modular una fuente óptica para generar una señal óptica predistorsionada correspondiente para su transmisión a través del sistema de comunicaciones ópticas.

El documento US 2011/158577 A2 da a conocer un dispositivo modulador óptico que comprende un interferómetro. El interferómetro incluye un acoplador óptico de entrada, un acoplador óptico de salida y dos o más guías de ondas ópticas controlables ubicadas en un sustrato. Cada guía de ondas óptica controlable conecta el acoplador óptico de entrada al acoplador óptico de salida y tiene un modulador de dos estados a lo largo de un segmento de la misma. Las dos o más guías de ondas ópticas controlables están conectadas para transmitir una salida al acoplador óptico de salida, amplitudes y/o fases de luz sustancialmente diferentes cuando los moduladores de dos estados de las dos guías de ondas ópticas controlables están en estados diferentes, según lo indicado por flujos de datos que tienen diferente contenido de información. Las dos o más guías de ondas ópticas controlables están configuradas para modular las amplitudes y/o fases de luz de una manera sustancialmente similar cuando los moduladores de dos estados se encuentran en estados idénticos.

El documento US 5.880.870 da a conocer un aparato para la generación de señales de banda lateral vestigial de banda ancha (VSB) principalmente para su transmisión a través de fibras ópticas en las que la frecuencia de portadora se encuentra en la parte infrarroja del espectro electromagnético. La señal de modulación es normalmente una señal digital de banda ancha. El aparato incluye una fibra óptica, una fuente de señales ópticas acoplada a un

modulador con una primera y una segunda señal de modulación que modulan la señal óptica portadora, además de un procedimiento para añadir una señal óptica portadora a la señal óptica de salida de modulador y acoplarse a una fibra óptica de salida. Las señales de modulación se seleccionan de manera que una señal óptica de salida transmitida a lo largo de la fibra óptica desde el modulador tenga una única banda lateral vestigial. Parte de la señal óptica portadora se transmite con la señal óptica de salida a través del uso de un bucle de derivación o a través de una combinación adecuada de la primera y segunda señales de modulación.

El documento WO 2007/041799 A2 da a conocer un sistema para transmitir información digital que incluye un aparato transmisor para generar una señal óptica que contiene información digital, un canal óptico dispersivo y un aparato receptor para recibir la señal óptica. El canal óptico dispersivo está dispuesto para transmitir la señal óptica desde el aparato transmisor al aparato receptor. El aparato transmisor incluye un codificador para codificar información digital en una serie de bloques, cada uno de los cuales incluye una pluralidad de símbolos de datos correspondientes a uno o más bits de información digital. Un generador de señales genera una señal variable en el tiempo correspondiente a cada uno de dichos bloques. Un transmisor óptico está dispuesto para aplicar la señal variable en el tiempo a una fuente óptica para producir una señal óptica que incluye una portadora óptica y sustancialmente solo una banda lateral óptica que contiene información en un dominio de frecuencia óptica, correspondiendo la banda lateral con la señal variable en el tiempo. El aparato receptor incluye un detector óptico para detectar la señal óptica para producir una señal eléctrica variable en el tiempo recibida correspondiente. El receptor incluye además medios para generar una serie de bloques de datos recibidos a partir de la señal eléctrica variable en el tiempo. Un ecualizador realiza una ecualización de los símbolos de datos recibidos incluidos en cada bloque de datos para mitigar el efecto de dispersión del canal óptico, lo que permite recuperar los símbolos de datos transmitidos.

El documento US 2014/099116 A1 da a conocer un receptor óptico que comprende una sección de entrada configurada para recibir una señal óptica y convertir la señal óptica en una pluralidad de señales eléctricas digitales que comprenden una pluralidad de señales de subportadora con forma espectral que transportan información de datos mapeada por símbolos, y una unidad de procesador de señales digitales (DSP) acoplada a la sección de entrada y configurada para recibir las señales digitales desde la sección de entrada, desmultiplexar las señales digitales en las señales de subportadora y compensar la dispersión cromática (CD) para cada una de las señales de subportadora aplicando un ecualizador, donde cada una de las señales de subportadora está asociada a una frecuencia de tono único y una forma espectral única. También se da a conocer un transmisor óptico que comprende una unidad de procesador de señales digitales (DSP) configurada para mapear símbolos de datos en una pluralidad de señales de subportadora eléctricas que no se superponen y tienen forma espectral en un dominio de frecuencia.

El documento EP 2 648 352 da a conocer un procedimiento para compensar, en un nodo de una red óptica, la dispersión cromática experimentada por paquetes ópticos transmitidos en ranuras de tiempo de canales multiplexados por división de longitud de onda a lo largo de al menos un enlace de la red óptica, una duración de ranura de tiempo correspondiente a la suma de una duración de paquete y una duración de espacio entre paquetes, donde dicho procedimiento comprende las siguientes etapas: - desmultiplexar los canales multiplexados por división de longitud de onda en una pluralidad de bandas, donde una banda comprende un número predeterminado de canales de longitud de onda adyacentes, - transmitir la dicha pluralidad de bandas, a través de una pluralidad respectiva de líneas de retardo que tienen retardos predeterminados, hacia una pluralidad respectiva de estructuras de adición/eliminación de paquetes que comprenden un receptor coherente, donde el dicho número predeterminado de canales de una banda se determina de modo que un primer desplazamiento de tiempo, debido al efecto de la dispersión cromática a lo largo de la transmisión a través de la red, entre dos paquetes ópticos de la misma ranura de tiempo enviados respectivamente en diferentes canales de la misma banda, sea más corto que una duración de espacio entre paquetes y de modo que el receptor coherente sea capaz de procesar el dicho número predeterminado de canales de una banda, donde el retardo predeterminado de una línea de retardo asociada a una banda de canales corresponde a un segundo desplazamiento de tiempo entre un canal de la dicha banda asociada y un canal de referencia, donde el dicho segundo desplazamiento de tiempo se debe a los efectos de la dispersión cromática a lo largo del último enlace cruzado.

## RESUMEN

La presente invención proporciona un aparato según la reivindicación 1 y procedimientos según las reivindicaciones 9 y 13, respectivamente.

La divulgación incluye un aparato que comprende una unidad DSP configurada para realizar una precompensación de dispersión de fibra en una secuencia de señal digital en función de un valor de dispersión para producir una señal precompensada, donde el valor de dispersión está asociado a un receptor óptico remoto, una pluralidad de DAC acoplados a la unidad DSP y configurados para convertir la señal precompensada en señales eléctricas analógicas, y una sección de entrada acoplada a los DAC y configurada para convertir las señales eléctricas analógicas en una primera señal óptica, añadir un campo eléctrico (E) óptico constante a la primera señal óptica para producir una segunda señal óptica, y transmitir la segunda señal óptica al receptor óptico remoto.

La divulgación incluye un procedimiento para su uso en un dispositivo de comunicación óptica que comprende

precompensar una primera secuencia de señales digitales destinada a un primer receptor óptico remoto de acuerdo con un primer valor de CD asociado al primer receptor óptico remoto para producir una primera señal digital precompensada, precompensar una segunda secuencia de señales digitales destinada a un segundo receptor óptico remoto de acuerdo con un segundo valor de CD asociado al segundo receptor óptico remoto para producir una  
 5 segunda señal digital precompensada, generar una señal óptica precompensada a partir de la primera señal digital precompensada y la segunda señal digital precompensada empleando un esquema de modulación de intensidad óptica y transmitir la señal óptica precompensada al primer receptor óptico remoto y al segundo receptor óptico remoto a través de la red óptica.

10 La divulgación incluye un procedimiento para su uso en un dispositivo de comunicación óptica que comprende recibir una señal óptica que se precompensa en función de una CD asociada al dispositivo, convertir la señal óptica en señales eléctricas y recuperar un bloque de señales a partir de las señales eléctricas, donde las señales eléctricas comprenden un intervalo de seguridad (GI) antes de la señal, y donde el GI está basado en la CD y en al menos otra CD asociada a otro dispositivo.

15 Estas y otras características se entenderán más claramente a partir de la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos y reivindicaciones adjuntos.

20 A continuación, las formas de realización no cubiertas por las reivindicaciones se considerarán como ejemplos que no están dentro del alcance de la invención definida por las reivindicaciones.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 Para un entendimiento más completo de esta divulgación, a continuación se hace referencia a la breve descripción siguiente, tomada junto con los dibujos adjuntos y la descripción detallada, donde números de referencia similares representan partes similares.

30 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de una red óptica pasiva (PON) de acuerdo con una forma de realización de la divulgación.

La FIG. 2 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor óptico.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático de una forma de realización de una unidad transceptora.

35 La FIG. 4 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un procedimiento para realizar una precompensación de dispersión electrónica (pre-EDC).

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de otra forma de realización de un procedimiento para realizar la pre-EDC.

40 La FIG. 6 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un procedimiento para procesar una señal óptica precompensada de dispersión de fibra.

45 La FIG. 7A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señales de transmisor para una señal modulada por amplitud de pulso de 4 niveles (4-PAM) de 40 gigabits por segundo (Gbps) sin pre-EDC.

La FIG. 7B ilustra una forma de realización de un diagrama de ojo de receptor para una señal 4-PAM de 40 Gbps sin pre-EDC.

50 La FIG. 8A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señal de transmisor para una señal 4-PAM de 40 Gbps con pre-EDC.

La FIG. 8B ilustra una forma de realización de un diagrama de ojo de receptor para una señal 4-PAM de 40 Gbps con pre-EDC.

55 La FIG. 9A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señal de transmisor para una señal de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de 40 Gbps sin pre-EDC.

La FIG. 9B ilustra una forma de realización de un gráfico de espectro de receptor para una señal de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) de 40 Gbps sin pre-EDC.

60 La FIG. 9C ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de subportadora de receptor para una señal OFDM de 40 Gbps sin pre-EDC.

65 La FIG. 10A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señal de transmisor para una señal OFDM de 40 Gbps con pre-EDC.

La FIG. 10B ilustra una forma de realización de un gráfico de espectro de receptor para una señal OFDM de 40 Gbps con pre-EDC.

5 La FIG. 10C ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de subportadora de receptor para una señal OFDM de 40 Gbps con pre-EDC.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA

10 Para comenzar, debe entenderse que aunque posteriormente se proporciona una implementación ilustrativa de una o más formas de realización, los sistemas y/o procedimientos dados a conocer pueden implementarse usando cualquier número de técnicas, ya sean actualmente conocidas o existentes. La divulgación no está limitada en modo alguno a las implementaciones ilustrativas, dibujos y técnicas ilustrados posteriormente, incluidos diseños e implementaciones a modo de ejemplo ilustrados y descritos en el presente documento, pero puede modificarse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas junto con su alcance de equivalencias total.

15 Un enfoque para proporcionar acceso óptico de amplia cobertura de alta velocidad puede basarse en soluciones coherentes. Las soluciones coherentes pueden proporcionar sensibilidades de potencia y selectividad de frecuencia más altas y, por lo tanto, pueden proporcionar una velocidad de transmisión de datos más alta, ampliar el alcance máximo y dar soporte a más usuarios finales en una red de acceso óptico que las soluciones no coherentes. Las soluciones coherentes pueden incluir información de amplitud y de fase, mientras que las soluciones no coherentes pueden incluir información de amplitud, pero no la información de fase. En una solución coherente, un OLT coherente puede codificar datos para diferentes ONU con diferentes formatos de modulación, tales como modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK), modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK), modulación de amplitud en cuadratura 16 (16-QAM) o formatos de modulación de orden superior, y puede emplear multiplexación por división de polarización (PDM) para lograr una velocidad de datos máxima para cada ONU. Una ONU coherente puede emplear técnicas de procesamiento de señales digitales para acondicionar las señales recibidas, por ejemplo realizando una ecualización para mitigar la dispersión de fibra y una detección coherente para recuperar los datos transmitidos originales a partir de las señales recibidas. Algunas de las técnicas de procesamiento de señales digitales pueden basarse en ecualización asistida por datos, ecualización ciega o ecualización adaptativa. Un ejemplo de una solución coherente se describe en el documento de F. Vacondio, et al., "Flexible TDMA access optical networks enabled by burst-mode software defined coherent transponders", conferencia europea sobre comunicaciones ópticas (ECOC) 2013, que se incorpora en el presente documento como referencia. Para detectar de manera coherente una señal óptica recibida, un receptor coherente puede emplear un oscilador local ajustado a la fase del transmisor, detectores equilibrados, ADC de alta velocidad y DSP para mitigar las distorsiones de canal en el dominio eléctrico y el dominio digital. Por lo tanto, los receptores coherentes pueden ser complejos y costosos. Además, las ONU actuales pueden fabricarse para la DD convencional (por ejemplo, sin recuperación de fase) y, por lo tanto, pueden no estar equipadas para realizar una detección coherente.

40 En el presente documento se dan a conocer mecanismos para realizar una pre-EDC en un transmisor óptico de acuerdo con un efecto de dispersión de fibra específica de receptor o dependiente del enlace. Las técnicas de pre-EDC dadas a conocer pueden aplicarse en los campos eléctricos (E) de una señal de transmisión y pueden ser adecuadas para señales con cualquier formato de modulación, tal como modulación por interrupción de portadora (OOK), PAM de n niveles (n-PAM), OFDM, multitono discreto (DMT), técnicas duobinarias, modulación por desplazamiento de fase diferente (DPSK), modulación por desplazamiento de fase en cuadratura diferencial (DQPSK) u otros formatos de modulación adecuados para la DD. En una forma de realización, un OLT puede determinar una cantidad de dispersión de fibra para cada ONU conectada y puede precompensar cada señal de bajada (DS) antes de su transmisión para tener en cuenta un efecto de dispersión de fibra entre el OLT y la ONU destinada a recibir la señal DS de modo que la ONU pueda recibir la señal DS con un efecto de dispersión de fibra cercano a cero, donde la DS puede hacer referencia a la dirección de transmisión desde el OLT a la ONU. Para facilitar la precompensación de dispersión de diferentes bloques de señales o diferentes segmentos destinados a diferentes ONU, el OLT puede insertar intervalos de seguridad (GI) entre bloques de señales que están destinados a diferentes ONU. Dado que la pre-EDC se realiza en un transmisor óptico, las técnicas de pre-EDC dadas a conocer pueden ser compatibles con cualquier tipo de receptor óptico, tales como receptores DD convencionales y receptores coherentes. En una forma de realización, el OLT puede emplear un transmisor óptico estructurado con interferómetro Mach-Zehnder (MZI) que comprende una rama de portadora de CC posicionada en paralelo con un modulador en fase/de fase en cuadratura (I/Q) para mejorar la eficiencia de la potencia de transmisor, reducir la pérdida de potencia asociada a la modulación y permitir el empleo de DAC y DSP de menor resolución. Por ejemplo, una señal precompensada de dispersión de fibra se puede separar en una componente de corriente continua (CC) y una componente de señal precompensada libre de CC, donde la componente de señal precompensada libre de CC se puede modular ópticamente a través del modulador I/Q y la componente de CC se puede añadir ópticamente a través de la rama de portadora de CC para reproducir la señal precompensada deseada. Además, el OLT puede emplear control de polarización automático para facilitar el uso del modulador. Las formas de realización dadas a conocer pueden proporcionar acceso óptico de amplia cobertura (por ejemplo, de hasta 100 km aproximadamente) de alta velocidad (por ejemplo, mayor que 10 gigabits por segundo (Gbps) aproximadamente) con penalización de dispersión cercana a cero y pueden permitir que las ONU reutilicen los recursos existentes (por ejemplo, sin modificar las arquitecturas de los receptores de las ONU) o que se actualicen con modificaciones mínimas. Cabe

señalar que la presente divulgación puede describir las formas de realización en el contexto de un OLT, pero las formas de realización dadas a conocer pueden aplicarse a transmisores de las ONU o a cualquier otro dispositivo de comunicación óptica.

5 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de una PON 100 de acuerdo con una forma de realización de la divulgación. La PON 100 puede comprender un OLT 110, una pluralidad de ONU 120 (por ejemplo, ONU<sub>1</sub>, ONU<sub>2</sub>, ONU<sub>N</sub>) y una ODN 130, que puede acoplarse al OLT 110 y a las ONU 120. La PON 100 puede ser una red de comunicación que no requiere ningún componente activo para distribuir datos entre el OLT 110 y las ONU 120. En cambio, la PON 100 puede usar los componentes ópticos pasivos de la ODN 130 para distribuir datos entre el OLT 110 y las ONU 120.  
10 La PON 100 puede ser un sistema de acceso de próxima generación (NGA), tal como una PON de gigabits de diez Gbps (XGPON), que puede tener un ancho de banda de bajada de diez Gbps aproximadamente y un ancho de banda de subida de al menos 2,5 Gbps aproximadamente. De forma alternativa, la PON 100 puede ser cualquier red basada en Ethernet, tal como una red óptica pasiva Ethernet (EPON), un EPON de 10 Gigabits (10GEPON), una PON de modo de transferencia asíncrona (APON), una PON de banda ancha (BPON), una GPON o una PON multiplexada por división de longitud de onda (WDM) (WPON).  
15

El OLT 110 puede ser cualquier dispositivo configurado para comunicarse con las ONU 120 y otra red troncal (por ejemplo, Internet). Específicamente, el OLT 110 puede actuar como un intermediario entre la red troncal y las ONU 120. Por ejemplo, el OLT 110 puede reenviar datos recibidos desde la red troncal a las ONU 120 y reenviar datos recibidos desde las ONU 120 a la red troncal. Aunque la configuración específica del OLT 110 puede variar dependiendo del tipo de PON 100, el OLT 110 puede comprender un transmisor óptico y un receptor óptico. Cuando la red troncal emplea un protocolo de red, tal como Ethernet o una red óptica síncrona/jerarquía digital síncrona (SONET/SDH), que es diferente del protocolo PON utilizado en la PON 100, el OLT 110 puede comprender un convertidor que puede convertir el protocolo de red en el protocolo PON. El convertidor de OLT 110 también puede convertir el protocolo PON en el protocolo de red. El OLT 110 puede estar ubicado en una ubicación central, tal como una oficina central, pero también puede estar ubicado en otras ubicaciones.  
20  
25

La ODN 130 puede ser un sistema de distribución de datos. Por ejemplo, la ODN 130 puede comprender una fibra de alimentación 131, una pluralidad de fibras de acometida 132, 133 y 134, y un divisor 135 que acopla la fibra de alimentación 131 a las fibras de acometida 132, 133 y 134. La fibra de alimentación 131 y las fibras de acometida 132, 133 y 134 pueden ser cualquier cable de fibra óptica que transporte señales ópticas que llevan datos entre el OLT 110 y las ONU 120. El divisor 135 puede ser cualquier acoplador óptico (por ejemplo, un acoplador direccional o un acoplador de interferencia multimodo (MMI)) configurado para dividir una señal de luz en una o más partes, cada una transportada a través de una de las fibras de acometida 132, 133 y 134. La ODN 130 puede comprender además otros distribuidores, acopladores y otros equipos (no mostrados). Tal y como se muestra en la FIG. 1, la ODN 130 puede extenderse entre el OLT 110 y las ONU 120 a través de tres enlaces de transporte óptico 161, 162 y 163. Por ejemplo, el enlace de transporte óptico 161 puede transportar señales ópticas desde el OLT 110 a la ONU 120 a lo largo de la fibra de alimentación 131 y la fibra de acometida 132, el enlace de transporte óptico 162 puede transportar señales ópticas desde el OLT 110 a la ONU 120 a lo largo de la fibra de alimentación 131 y la fibra de acometida 133, y el enlace de transporte óptico 163 puede transportar señales ópticas desde el OLT 110 a la ONU 120 a lo largo de la fibra de alimentación 131 y la fibra de acometida 134. Cabe señalar que la ODN 130 puede disponerse como se muestra en la FIG. 1 o en cualquier otra disposición adecuada.  
30  
35  
40

Las ONU 120 pueden ser cualquier dispositivo configurado para comunicarse con el OLT 110 y un cliente o usuario final. Específicamente, las ONU 120 pueden actuar como un intermediario entre el OLT 110 y el cliente. Por ejemplo, las ONU 120 pueden reenviar datos recibidos desde el OLT 110 al cliente y reenviar datos recibidos desde el cliente al OLT 110. Aunque la configuración específica de las ONU 120 puede variar dependiendo del tipo de PON 100, en una forma de realización, las ONU 120 pueden comprender un transmisor óptico configurado para enviar señales ópticas al OLT 110 y un receptor óptico configurado para recibir señales ópticas desde el OLT 110. Adicionalmente, las ONU 120 pueden comprender un convertidor que convierte la señal óptica en señales eléctricas para el cliente, tales como señales en el protocolo Ethernet o en el protocolo de modo de transferencia asíncrona (ATM), y un segundo transmisor y/o receptor que puede enviar y/o recibir las señales eléctricas hacia y desde un dispositivo de cliente. Las ONU 120 pueden estar ubicadas en ubicaciones distribuidas, tales como instalaciones de usuario, pero también pueden estar ubicadas en otras ubicaciones.  
45  
50  
55

Cada uno de los enlaces de transporte óptico 161, 162 y 163 puede comprender un efecto de dispersión de fibra debido al uso de fibras 131, 132, 133 y 134 como medio de transmisión y las diferentes velocidades de propagación entre diferentes componentes de señal a lo largo de las fibras 131, 132, 133 y 134. Por ejemplo, el OLT 110 puede transmitir una señal de onda de luz que comprende una pluralidad de pulsos de luz, cada uno transportando un símbolo de datos, a una ONU 120. Cuando la señal de onda de luz se propaga a lo largo de los enlaces de transporte óptico 161, 162 o 163, el efecto de CD puede provocar que los pulsos de luz se propaguen en el tiempo (por ejemplo, un efecto de ensanchamiento de pulso), y por lo tanto la ONU 120 puede recibir pulsos de luz adyacentes que se superponen o símbolos de datos adyacentes que interfieren entre sí (por ejemplo, ISI o interferencias inducidas por CD). De este modo, la ONU 120 puede no ser capaz de recuperar los datos originales sin errores o puede no recuperar ninguno de los datos originales cuando la ISI es sustancialmente intensa. Para revertir o eliminar el efecto de CD, el efecto de CD puede compensarse o eliminarse en el receptor de la ONU 120 o  
60  
65

precompensarse en el transmisor del OLT 110. Sin embargo, muchas de las ONU actuales pueden emplear una arquitectura de receptor DD convencional para lograr un bajo coste y una baja complejidad, por lo que pueden no estar equipadas con una arquitectura de receptor coherente para realizar la compensación de CD. Por lo tanto, la incorporación de la precompensación de CD en el transmisor del OLT 110 puede ser una solución más adecuada o rentable al evitar el aumento del coste y la complejidad en los receptores de muchas ONU 120. Cabe señalar que el efecto de CD puede aumentar con las longitudes de fibra, así como con la velocidad de datos (por ejemplo, velocidad en baudios).

Cada uno de los enlaces de transporte óptico 161, 162, 163 puede comprender un efecto de CD diferente debido a diferentes longitudes de trayectoria de fibra, y por lo tanto cada ONU 120 puede recibir un efecto de CD diferente. Un enfoque para precompensar las señales DS puede ser tener en cuenta el efecto de CD de acuerdo con los receptores (por ejemplo, ONU de destino 120) de las señales DS. Por ejemplo, el enlace de transporte óptico 161, 162 o 163 puede comprender una cantidad de CD representada por  $D_1$ ,  $D_2$  o  $D_3$ , respectivamente. Por lo tanto, el OLT 110 puede precompensar una señal de transmisión con una CD en la cantidad de  $D_1$  cuando la señal de transmisión está destinada a una ONU 120 (por ejemplo, la ONU<sub>1</sub>) que se conecta al OLT 110 mediante el enlace de transporte óptico 161. Del mismo modo, el OLT 110 puede precompensar una señal de transmisión con una CD en la cantidad de  $D_2$  cuando la señal de transmisión está destinada a una ONU 120 (por ejemplo, la ONU<sub>2</sub>) que se conecta al OLT 110 a través del enlace de transporte óptico 162, y el OLT 110 puede precompensar una señal de transmisión con una CD en la cantidad de  $D_3$  cuando la señal de transmisión está destinada a una ONU 120 (por ejemplo, la ONU<sub>N</sub>) que se conecta al OLT 110 a través del enlace de transporte óptico 163. De este modo, cada ONU 120 puede recibir señales DS desde el OLT 110 con un efecto de CD mínimo o un efecto de CD cercano a cero. Por lo tanto, las ONU 120 pueden emplear la arquitectura de receptor DD convencional sin modificaciones.

El OLT 110 puede obtener la cantidad de CD en los enlaces de transporte óptico 161, 162 y 163 a través de varios mecanismos. Por ejemplo, el efecto de CD puede medirse mediante un equipo de prueba durante una configuración inicial o instalación de una ONU 120, donde el equipo de prueba puede enviar una señal de prueba a la ONU 120 y medir el retardo en la señal devuelta. De forma alternativa, el OLT 110 puede medir la cantidad de CD cuando la ONU 120 se une a la red durante una fase de descubrimiento de red ajustando de manera iterativa la cantidad de CD para la precompensación y determinando una estimación óptima para la cantidad de CD.

El OLT 110 puede realizar una asignación dinámica de ancho de banda para asignar anchos de banda de transmisión de subida (US) y anchos de banda de transmisión DS a las ONU 120; US puede hacer referencia a la dirección de transmisión desde las ONU 120 al OLT 110. En una forma de realización, el OLT 110 puede emplear un esquema de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para la transmisión DS. En el esquema TDMA, el ancho de banda de transmisión o canal DS puede compartirse entre las ONU 120 al dividir el canal DS en una pluralidad de ranuras de tiempo 141, 142, 143, 144, 145 y 146, cada una designada para una de las ONU 120. Por ejemplo, las ranuras de tiempo 141 y 145 pueden designarse para una primera de las ONU 120 (por ejemplo, la ONU<sub>1</sub>), las ranuras de tiempo 142 y 144 pueden designarse para una segunda de las ONU 120 (por ejemplo, la ONU<sub>2</sub>), y las ranuras de tiempo 143 y 146 pueden designarse para una tercera de las ONU 120 (por ejemplo, la ONU<sub>N</sub>). Cada ONU 120 puede detectar, decodificar y desencapsular los datos DS del OLT 110 y puede filtrar paquetes de datos que no estén destinados a la ONU 120 o a los clientes de usuario de la ONU 120. Cabe señalar que el OLT 110 puede emplear otro esquema de acceso por separado o en combinación con el esquema TDMA para comunicarse con las ONU 120.

Además de precompensar las señales DS para tener en cuenta la dispersión de fibra, el OLT 110 puede insertar GI 150 entre cada una de las ranuras de tiempo 141-146 para reducir la interferencia inducida por CD entre bloques de señales adyacentes, donde los GI 150 pueden ser mayores que la duración de ensanchamiento de pulso inducida por CD,  $\Delta T_{CD}$ . Por ejemplo, un período de símbolo puede estar representado por  $T_S$ , que puede determinarse por la velocidad de datos o la velocidad en baudios, y la interferencia inducida por CD puede provocar que el símbolo abarque un período,  $T_{CD}$ , que es mayor que  $T_S$ , donde la duración de ensanchamiento de pulso inducida por CD puede denominarse diferencia entre  $T_{CD}$  y  $T_S$  (por ejemplo,  $\Delta T_{CD} = T_{CD} - T_S$ ).

El OLT 110 puede insertar los GI 150 con diferentes duraciones entre ranuras de tiempo adyacentes 141-146 de acuerdo con las ONU 120 que están asignadas a las ranuras de tiempo adyacentes. Por ejemplo, cada GI 150 puede configurarse para que sea un valor mayor que aproximadamente el 50 por ciento (%) de la suma de las duraciones de ensanchamiento de pulso de las ONU 120 que se asignan a las ranuras de tiempo adyacentes, como se muestra a continuación:

$$GI > 0.5 \times (\Delta T_{CD}(i) + \Delta T_{CD}(i + 1)), \quad (1)$$

donde  $\Delta T_{CD}(i)$  puede representar la duración de ensanchamiento de pulso para una primera ONU 120 asignada a una ranura de tiempo  $i$  y  $\Delta T_{CD}(i+1)$  puede representar la duración de ensanchamiento de pulso para una segunda ONU 120 asignada a una ranura de tiempo  $i+1$  posterior a la ranura de tiempo  $i$ .

De forma alternativa, todos los GI 150 pueden configurarse con una misma duración que es mayor que una media

de las duraciones de ensanchamiento de pulso para todas las ONU 120, como se muestra a continuación:

$$GI > \text{media} (\sum_i \Delta T C_{CD}(i)). \quad (2)$$

5 Además, el OLT puede configurar las duraciones de los GI 150 para que sean múltiplos enteros del período de símbolo de datos (por ejemplo,  $m \times T_s$ , donde  $m$  es un número entero) de modo que los circuitos de recuperación de temporización de las ONU 120 pueden permanecer bloqueados en fase después de la recepción de los GI 150.

10 En algunas formas de realización, la PON 100 puede acoplarse a una red coaxial para formar una red de acceso híbrida, tal como una PON Ethernet sobre red coaxial (EPoC). En una red de acceso híbrida, un terminal de línea coaxial (CLT) puede actuar como un intermediario entre el OLT 110 y las unidades de red coaxial (CNU) que están conectadas a la red coaxial. El CLT puede reenviar datos recibidos desde el OLT 110 a las CNU y reenviar datos recibidos desde las CNU al OLT 110. El OLT 110 puede asignar anchos de banda de transmisión US y anchos de banda de transmisión DS al CLT empleando mecanismos de planificación sustancialmente similares a los de las ONU 120. Además, el OLT 110 puede emplear mecanismos de precompensación de dispersión de fibra similares cuando se transmiten señales DS al CLT.

15 La FIG. 2 es un diagrama esquemático de una forma de realización de un transmisor óptico 200, que puede ser utilizado por un OLT, tal como el OLT 110, una ONU, tal como la ONU 120, un CLT en una red EPoC, o cualquier otro dispositivo de comunicación óptica. El transmisor 200 se puede utilizar para modular y transmitir datos como señales ópticas y precompensar las dispersiones de fibra antes de transmitir las señales ópticas. El transmisor 200 puede comprender una unidad DSP 210, dos DAC 220, dos amplificadores eléctricos 230 (mostrados como AMP), un láser 240, una sección de modulación óptica 250 y un amplificador óptico 280, donde el láser 240, la sección de modulación óptica 250 y el amplificador óptico 280 pueden denominarse sección de entrada.

20 La unidad DSP 210 puede configurarse para realizar funciones de procesamiento de señales digitales y puede comprender uno o más DSP y/u otros circuitos lógicos. El transmisor 200 puede recibir un flujo de datos de entrada desde una fuente de datos o una unidad de generación de datos (no mostrada). La unidad DSP 210 puede mapear los bits de información de datos con símbolos de datos de acuerdo con un esquema de modulación predeterminado (por ejemplo, OOK, n-PAM, DMT, técnicas duobinarias, DPSK, DQPSK) para producir campos E adecuados para la modulación y transmisión ópticas y puede precompensar los campos E para producir señales precompensadas, tal como se describe en detalle posteriormente. Dado que la precompensación de dispersión de fibra se realiza en el dominio eléctrico digital, la precompensación de dispersión de fibra puede denominarse pre-EDC. La unidad DSP 210 puede realizar la pre-EDC de acuerdo con un efecto de dispersión de fibra que depende o es específico del receptor del flujo de datos de entrada o del receptor óptico de destino, tal como se describe en detalle posteriormente. Cabe señalar que las señales precompensadas pueden comprender una componente real y una componente imaginaria.

25 Los DAC 220 pueden acoplarse a la unidad DSP 210 y pueden convertir las señales precompensadas de dispersión de fibra en señales eléctricas analógicas 231 y 232. Por ejemplo, un primer DAC de los DAC 220 puede convertir la componente real en la señal eléctrica 231 y un segundo DAC de los DAC 220 puede convertir la componente imaginaria en la señal eléctrica 232. Los amplificadores eléctricos 230 pueden colocarse entre los DAC 220 y la sección de modulación óptica 250 y pueden configurarse para amplificar las señales eléctricas analógicas para producir niveles de tensión adecuados para activar la sección de modulación óptica 250.

30 La sección de modulación óptica 250 puede acoplarse al láser 240. El láser 240 puede ser una fuente de luz configurada para producir una señal de onda de luz que comprende una amplitud, frecuencia y fase sustancialmente constantes. La sección de modulación óptica 250 puede configurarse para modular la señal de onda de luz de acuerdo con las señales de tensión. Por ejemplo, la señal de onda de luz puede denominarse portadora óptica que transporta las señales de tensión convertidas a partir de los bits de información de datos.

35 La sección de modulación óptica 250 puede comprender una estructura de MZI que comprende un brazo de interferómetro superior 251, un brazo de interferómetro inferior 252, un primer divisor óptico 253 y un primer combinador óptico 254. La sección de modulación óptica 250 puede configurarse para recibir la señal de onda de luz desde el láser 240. El primer divisor óptico 253 puede ser un acoplador direccional, un MMI o un divisor de potencia configurado para dividir la señal de onda de luz en una primera parte y una segunda parte, donde la primera parte puede propagarse a lo largo del brazo de interferómetro superior 251 y la segunda parte puede propagarse a lo largo del brazo de interferómetro inferior 252. El primer combinador óptico 254 puede ser sustancialmente similar al primer divisor óptico 253, pero puede configurarse para combinar señales ópticas en lugar de dividir una señal óptica.

40 La sección de modulación óptica 250 puede comprender además un modulador de I/Q 260 acoplado al brazo de interferómetro superior 251. El modulador I/Q 260 puede comprender una estructura de modulador Mach-Zehnder (MZM) anidada, similar a un modulador I/Q estándar. Por ejemplo, el modulador I/Q 260 puede comprender un segundo divisor óptico 263, una rama I 261, una rama Q 262, un segundo combinador óptico 264 y MZM 265 y 266. La rama I 261 y la rama Q 262 pueden colocarse aproximadamente paralelas entre sí y entre el segundo divisor



óptico 263 y el segundo combinador óptico 264. El MZM 265 puede acoplarse a la rama I 261 y el MZM 266 puede acoplarse a la rama Q 262. El segundo divisor óptico 263 y el segundo combinador óptico 264 pueden ser sustancialmente similares al primer divisor óptico 253 y al primer combinador óptico 254, respectivamente.

5 El modulador I/Q 260 puede configurarse para recibir la primera parte de la señal de onda de luz producida por el láser 240. El segundo divisor óptico 263 puede configurarse para dividir la primera parte de la señal de onda de luz en dos partes aproximadamente iguales (por ejemplo, una relación de división 50:50), una tercera parte y una cuarta parte, donde la tercera parte puede propagarse a lo largo de la rama I 261 y la cuarta parte puede propagarse a lo largo de la rama Q 262.

10 El MZM 265 puede comprender un par de brazos de interferómetro 271 posicionados entre un tercer divisor óptico 273, similar al primer divisor óptico 253, y un tercer combinador óptico 274, similar al primer combinador óptico 254. El MZM 265 puede configurarse para modular la tercera parte de la señal de onda de luz de acuerdo con la señal eléctrica 231 para producir una componente I. Por ejemplo, el tercer divisor óptico 273 puede dividir la tercera parte de la señal de onda de luz en dos partes aproximadamente iguales, cada una de las cuales se propaga a lo largo de una trayectoria óptica proporcionada por uno de los brazos de interferómetro 271. La señal eléctrica 231 puede aplicarse a un primer brazo de los brazos de interferómetro 271 (por ejemplo, mediante un electrodo (no mostrado)) para provocar cambios de fase (por ejemplo, modulación de fase) en el primer brazo de interferómetro 271. Al combinar las trayectorias ópticas de los brazos de interferómetro 271 y 272, el MZM 265 puede convertir la modulación de fase en una modulación de intensidad, en la que la potencia óptica en la salida del MZM 265 puede variar de acuerdo con la señal eléctrica 231.

15 El MZM 266 puede comprender una estructura similar a la del MZM 265 y puede configurarse para modular la cuarta parte de la señal de onda de luz de acuerdo con la señal eléctrica 232 para producir una componente Q empleando mecanismos de modulación de intensidad similares a los del MZM 265.

20 El modulador I/Q 260 puede comprender además un primer desfasador 267 acoplado a la rama Q 262 para proporcionar un desfase o retardo de aproximadamente  $\pi/2$  radianes entre la rama I 261 y la rama Q 262. El segundo combinador óptico 264 puede configurarse para combinar las componentes I y Q para producir una señal óptica modulada I/Q.

25 La sección de modulación óptica 250 puede comprender además un segundo desfasador 257 acoplado al segundo brazo de interferómetro 252 y configurado para polarizar el segundo brazo de interferómetro 252 de modo que el segundo brazo de interferómetro 252 pueda comprender una fase cero con respecto a la rama I 261. El segundo brazo de interferómetro 252 puede emplearse para proporcionar una polarización de CC para el modulador I/Q 260 ajustando el segundo desfasador 257. Por lo tanto, el brazo de interferómetro inferior 252 puede denominarse brazo de portadora de CC y el segundo desfasador 257 puede denominarse elemento de CC.

30 Las señales precompensadas o campos E generados por la unidad DSP 210 pueden comprender una componente de CC (por ejemplo, un valor promedio distinto de cero), tal como se describe en detalle posteriormente. Para minimizar la resolución de los DAC 220 y mejorar la eficiencia energética de la sección de modulación óptica 250, la unidad DSP 210 puede configurarse para eliminar o separar la componente de CC de la señal precompensada para producir una componente de señal precompensada libre de CC con un intervalo de señales más pequeño. El modulador I/Q puede modular la componente de señal precompensada libre de CC y el segundo brazo de interferómetro 252 puede configurarse para proporcionar un campo E óptico constante (por ejemplo, en una cantidad equivalente que la componente de CC), que puede añadirse ópticamente a través del primer combinador óptico 254.

35 El transmisor 200 puede comprender además un amplificador óptico 280 acoplado al primer combinador óptico 254 y configurado para proporcionar una amplificación de señal óptica adecuada para su transmisión a través de una red óptica, tal como la PON 100.

40 Para minimizar la pérdida de potencia en el transmisor 200, el primer divisor óptico 253 puede configurarse para proporcionar una relación de división de potencia entre el primer brazo de interferómetro 251 y el segundo brazo de interferómetro 252 de modo que la oscilación de tensión de pico a pico para cada una de la rama I 261 y la rama Q 262 pueda ser aproximadamente o ligeramente mayor que la tensión para inducir un cambio de fase de  $\pi$  (por ejemplo, tensión de media onda  $V\pi$ ). Cabe señalar que el transmisor 200 puede proporcionar una pérdida de potencia significativamente menor en comparación con un transmisor modulador I/Q estándar (por ejemplo, sin el segundo brazo de interferómetro 252) ya que la profundidad de modulación (por ejemplo, relación de amplitud entre las señales de tensión eléctrica y la señal portadora óptica) de un modulador I/Q estándar puede estar más limitada debido a las características de función de transferencia no lineal de los MZM.

45 El transmisor 200 puede configurarse para proporcionar un campo E óptico constante (por ejemplo, una polarización de CC fija) en el segundo brazo de interferómetro 252 configurando una relación de división adecuada para el primer divisor óptico 253 y/o el primer combinador óptico 254. En dicha forma de realización, la potencia de salida de los dos amplificadores eléctricos 230 puede ajustarse para escalar adicionalmente la componente de señal precompensada libre de CC en función de la cantidad del campo E óptico constante de modo que la señal

precompensada de dispersión de fibra se reproduzca correctamente en la salida de la sección de modulación óptica 250. Cabe señalar que para las señales ópticas que no tienen componentes de CC en sus campos E, como en técnicas duobinarias, DPSK y DQPSK, es posible que no se requiera el brazo de portadora de CC.

- 5 El transmisor 200 puede comprender además un controlador de polarización automático (no mostrado) acoplado a la sección de modulación óptica 250 para proporcionar control de polarización automático para la sección de modulación óptica 250. Por ejemplo, el control de polarización automático puede llevarse a cabo haciendo oscilar la polarización (por ejemplo, a través de un tono de oscilación de baja frecuencia) de la rama Q 262, supervisando el tono de oscilación en la salida de la sección de modulación óptica 250 y controlando la polarización en el primer desfasador 267 para minimizar el tono de oscilación en la salida de la sección de modulación óptica 250.

15 La FIG. 3 es un diagrama esquemático de una forma de realización de una unidad transceptora 300, que puede ser cualquier dispositivo que transmite y/o recibe señales ópticas que transportan datos codificados. Por ejemplo, la unidad transceptora 300 puede estar ubicada en un dispositivo de comunicación óptica, tal como el OLT 110, la ONU 120, un CLT en una red EPoC, o cualquier otro elemento de red óptica adecuado para su uso en una PON, tal como la PON 100, o cualquier otra red de transporte óptica (OTN), y/o puede comprender el transmisor óptico 200. La unidad transceptora 300 también puede configurarse para implementar o admitir cualquiera de los esquemas descritos en el presente documento, tal como el procedimiento 400, 500 y/o 600, como se describe en detalle posteriormente. Un experto en la técnica reconocerá que el término 'unidad transceptora' engloba una amplia gama de dispositivos, de los cuales la unidad transceptora 300 es simplemente un ejemplo. La unidad transceptora 300 se incluye con fines explicativos, pero de ninguna manera pretende limitar la aplicación de la presente divulgación a una forma de realización de unidad transceptora particular o una clase de formas de realización de unidad transceptora. Al menos algunas de las características y procedimientos descritos en la divulgación pueden implementarse en un aparato o componente de red, tal como una unidad transceptora 300. Por ejemplo, las características y procedimientos de la divulgación pueden implementarse usando hardware, firmware y/o software instalado para ejecutarse en hardware. Tal y como se muestra en la FIG. 3, la unidad transceptora 300 puede comprender una sección de entrada de eléctrico a óptico (E/O) 310 y/o una sección de entrada de óptico a eléctrico (O/E) 320, que puede convertir una señal eléctrica en una señal óptica para su transmisión en una OTN y/o recibir una señal óptica desde la OTN y convertir la señal óptica en una señal eléctrica, respectivamente. Una unidad de procesamiento 330 puede acoplarse a la sección de entrada E/O 310 y a la sección de entrada O/E 320 a través de una pluralidad de DAC 340, similares a los DAC 220, y ADC 350, respectivamente, que pueden ser o no parte de la unidad de procesamiento 330. Los DAC 340 pueden convertir señales eléctricas digitales generadas por la unidad de procesamiento 330 en señales eléctricas analógicas que pueden introducirse en la sección de entrada E/O 310. Los ADC 350 pueden convertir señales eléctricas analógicas recibidas desde la sección de entrada O/E 320 en señales eléctricas digitales que pueden ser procesadas por la unidad de procesamiento 330. La unidad de procesamiento 330 puede comprender uno o más procesadores, que pueden incluir procesadores generales, procesadores de núcleo único, procesadores de múltiples núcleos, circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC) y/o DSP. La unidad de procesamiento 330 puede comprender un módulo de pre-EDC de transmisión (Tx) 333, que puede implementar el procedimiento 400 y/o 500, y/o un módulo de recuperación de datos de recepción (Rx) 334, que puede implementar el procedimiento 600, equalización de canales, recuperación de temporización, desmodulación y/o descodificación de datos para recuperar los datos transmitidos originales. En una forma de realización alternativa, el módulo de pre-EDC Tx 333 y el módulo de recuperación de datos Rx 334 pueden implementarse como instrucciones almacenadas en el módulo de memoria 332, que puede ser ejecutado por la unidad de procesamiento 330. El módulo de memoria 332 puede comprender una memoria caché para almacenar temporalmente contenido, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM). Adicionalmente, el módulo de memoria 332 puede comprender un almacenamiento a largo plazo para almacenar contenido relativamente más grande, por ejemplo, una memoria de solo lectura (ROM). Por ejemplo, la memoria caché y el almacenamiento a largo plazo pueden incluir memorias de acceso aleatorio dinámico (DRAM), unidades de estado sólido (SSD), discos duros o combinaciones de los mismos.

50 Debe entenderse que al programar y/o cargar instrucciones ejecutables en la unidad transceptora 300, al menos uno de la unidad de procesamiento 330 y/o el módulo de memoria 332 se modifican, transformando la unidad transceptora 300, en parte, en una máquina o aparato particular, por ejemplo una arquitectura de reenvío de múltiples núcleos, que cuenta con la funcionalidad novedosa descrita por la presente divulgación. Es fundamental tanto para la ingeniería eléctrica como para la ingeniería del software, que la funcionalidad puede implementarse cargando software ejecutable en un ordenador que puede convertirse en una implementación de hardware mediante reglas de diseño ampliamente conocidas. Las decisiones entre implementar un concepto en software o en hardware se basan normalmente en consideraciones de estabilidad del diseño, el número de unidades a producir y/o los requisitos de velocidad de reloj en lugar de en cualquier cuestión relacionada con conversiones desde el dominio de software al dominio de hardware. Por lo general, puede preferirse que un diseño que está sujeto a cambios frecuentes se implemente en software, ya que modificar una implementación en hardware es más caro que modificar un diseño de software. Por lo general, puede preferirse que un diseño que sea estable y que se produzca a gran escala se implemente en hardware, por ejemplo en un ASIC, ya que para una producción a gran escala, la implementación en hardware puede ser menos cara que la implementación en software. Con frecuencia, un diseño puede desarrollarse y probarse en forma de software y transformarse posteriormente, mediante reglas de diseño ampliamente conocidas, a una implementación en hardware equivalente en un ASIC que transcriba las instrucciones

del software. De la misma manera que una máquina controlada por un nuevo ASIC es una máquina o aparato particular, un ordenador que se ha programado y/o cargado con instrucciones ejecutables puede considerarse como una máquina o aparato particular.

5 Debe entenderse que cualquier procesamiento de la presente divulgación puede implementarse haciendo que un procesador (por ejemplo, una unidad de procesamiento central (CPU) de propósito general en un sistema informático) en un sistema informático ejecute un programa informático. En este caso, se puede proporcionar un producto de programa informático a un ordenador o dispositivo móvil utilizando cualquier tipo de medio legible por ordenador no transitorio. El producto de programa informático puede estar almacenado en un medio legible por  
 10 ordenador no transitorio en el ordenador o el dispositivo de red. Los medios legibles por ordenador no transitorios incluyen cualquier tipo de medio de almacenamiento tangible. Ejemplos de medios legibles por ordenador no transitorios incluyen medios de almacenamiento magnético (tales como disquetes, cintas magnéticas, unidades de disco duro, etc.), medios de almacenamiento magnético óptico (por ejemplo, discos magnético-ópticos), memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), disco compacto grabable (CD-R), disco compacto reescribible (CD-R/W),  
 15 disco versátil digital (DVD), disco Blu-ray (marca registrada) (BD) y memorias semiconductoras (tales como ROM de máscara, ROM programable (PROM), PROM borrable, ROM flash y RAM). También se puede proporcionar el producto de programa informático a un ordenador o dispositivo de red utilizando cualquier tipo de medio legible por ordenador transitorio. Ejemplos de medios legibles por ordenador transitorios incluyen señales eléctricas, señales ópticas y ondas electromagnéticas. Los medios legibles por ordenador transitorios pueden proporcionar el programa  
 20 a un ordenador a través de una línea de comunicación por cable (por ejemplo, cables eléctricos y fibras ópticas) o una línea de comunicación inalámbrica.

La FIG. 4 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un procedimiento 400 para realizar la pre-EDC, que puede implementarse en un transmisor óptico, tal como el transmisor óptico 200 o la unidad transceptora 300, y  
 25 puede ser utilizado por un OLT, tal como el OLT 110, o por una ONU, tal como la ONU 120. El procedimiento 400 puede ser adecuado para implementarse en una unidad DSP, tal como la unidad DSP 210 o la unidad de procesamiento 330. El procedimiento 400 puede describirse en el contexto del OLT, pero pueden aplicarse mecanismos similares a la ONU. El OLT puede estar conectado a una pluralidad de ONU, cada una asociada a un efecto de dispersión de fibra específica de ONU dependiendo de la trayectoria óptica entre el OLT y la ONU. El  
 30 procedimiento 400 puede precompensar cada señal DS antes de su transmisión para tener en cuenta una cantidad particular de dispersión de fibra de acuerdo con la ONU que se asigna con la señal DS. El procedimiento 400 puede comenzar con un conjunto de valores de dispersión específicos de ONU conocidos o predeterminados,  $D(i)$ , cada uno asociado a una ONU específica,  $ONU(i)$ , donde  $i$  puede ser un valor entero que varía de 1 a  $N$ .

35 En la etapa 410, el procedimiento 400 puede ensamblar una pluralidad de bloques de señales,  $S(i)$ , en una secuencia de señales digitales, donde cada  $S(i)$  puede estar destinada a una  $ONU(i)$  diferente y cada  $ONU(i)$  puede estar asociada a un valor de dispersión particular,  $D(i)$ . En la etapa 420, el procedimiento 400 puede insertar GI entre bloques de señales adyacentes,  $S(i)$  y  $S(i+1)$ . Tal como se describió anteriormente, el efecto de dispersión de fibra puede provocar ensanchamientos de pulso, donde los períodos de ensanchamiento inducidos por dispersión pueden  
 40 representarse como  $\Delta T_{CD}(i)$  para una  $ONU(i)$ . El procedimiento 400 puede configurar que los GI sean mayores que  $\Delta T_{CD}(i)$  para mitigar adicionalmente la ISI entre bloques de señales adyacentes. Por ejemplo, el procedimiento 400 puede insertar un GI entre bloques de señales adyacentes,  $S(i)$  y  $S(i+1)$ , donde el GI puede estar configurado de manera que la duración del GI pueda ser mayor que aproximadamente el 50% de la suma de los períodos de ensanchamiento de pulso  $\Delta T_{CD}(i)$  y  $\Delta T_{CD}(i+1)$ , tal como se describe en la Ecuación (1). De forma alternativa, el  
 45 procedimiento 400 puede configurar todos los GI con la misma duración de tiempo, donde la duración de tiempo puede ser una media de todos los períodos de ensanchamiento de pulso  $\Delta T_{CD}(i)$ , como se describe en la Ecuación (2). Además, el procedimiento 400 puede configurar los GI de modo que los GI puedan comprender múltiplos enteros de un período de símbolo para simplificar la recuperación de temporización en los receptores de ONU.

50 En la etapa 430, el procedimiento 400 puede determinar un campo E para la secuencia de señales digitales de acuerdo con un esquema de modulación predeterminado. Cabe señalar que el campo E puede comprender una componente real (por ejemplo, una componente I) y una componente imaginaria (por ejemplo, una componente Q) dependiendo del esquema de modulación seleccionado. Por ejemplo, cuando el esquema de modulación seleccionado es un esquema OOK, el campo E de la secuencia de señales puede comprender una componente I  
 55 que varía entre dos valores, uno que representa un valor de bit de 0 y otro que representa un valor de bit de 1.

En la etapa 440, el procedimiento 400 puede realizar un sobremuestreo en el campo E para aumentar la resolución. Por ejemplo, el procedimiento 400 puede emplear un sobremuestreo 2x. En la etapa 450, después de realizar el sobremuestreo, el procedimiento 400 puede realizar la pre-EDC en el campo E sobremuestreado de la secuencia de  
 60 señales para producir una señal digital precompensada. El procedimiento 400 puede precompensar el campo E para cada  $S(i)$  de acuerdo con una  $D(i)$  correspondiente asociada a una  $ONU(i)$ . Dado que la CD puede depender de longitudes de fibra y puede ser sustancialmente estática temporalmente, los valores de dispersión de compensación de pre-EDC pueden determinarse, por ejemplo, en la fase de inicio del sistema.

65 El procedimiento 400 puede determinar una pluralidad de filtros de dominio de frecuencia, cada uno correspondiente a un valor de dispersión de compensación dado,  $D_{pre}(i)$ , que es opuesto a uno de los valores de dispersión

específicos de ONU,  $D(i)$  (por ejemplo,  $D_{pre}(i) = -D(i)$ ). Después de determinar los filtros de dominio de frecuencia, el procedimiento 400 puede transformar cada bloque de señales en una secuencia de frecuencias a través de una transformada rápida de Fourier (FFT), seleccionar un filtro de dominio de frecuencia de acuerdo con  $D_{pre}(i)$ , y precompensar la secuencia de frecuencias filtrando la secuencia de frecuencias con el filtro de dominio de frecuencia seleccionado. Después de precompensar la secuencia de frecuencias, el procedimiento 400 puede convertir la secuencia de frecuencias precompensada en una secuencia de señales digitales de dominio de tiempo mediante una FFT inversa (IFFT). En algunas formas de realización, el procedimiento 400 puede realizar adicionalmente otra ecualización de respuesta de frecuencia y otra compensación de no linealidad. La compensación o ecualización del dominio de frecuencia se puede realizar empleando un enfoque de solapamiento y adición o un enfoque de solapamiento y almacenamiento. Cabe señalar que los filtros de dominio de frecuencia pueden ser filtros estáticos, pero se pueden actualizar durante una reconfiguración de red (por ejemplo, cambios en la configuración física, tales como cambio de longitud de fibra).

En la etapa 460, después de realizar la pre-EDC, el procedimiento 400 puede separar la señal precompensada en una componente de CC y una componente libre de CC (por ejemplo, que comprende una componente real y una componente imaginaria) para permitir el uso de DAC de menor resolución y/o menor coste. Cabe señalar que para las señales ópticas que no tienen componentes de CC en sus campos E, como técnicas duobinarias, DPSK y DQPSK, puede omitirse la etapa 460.

En la etapa 470, el procedimiento 400 puede enviar el componente precompensado libre de CC a los DAC, tales como los DAC 220. Por ejemplo, el procedimiento 400 puede enviar la componente real a un DAC y la componente imaginaria a otro DAC para la conversión de digital a analógico para producir señales eléctricas analógicas. Por ejemplo, los DAC pueden acoplarse a un modulador I/Q, similar al modulador I/Q 260 en el transmisor 200, para una modulación I/Q óptica, y la componente de CC puede añadirse ópticamente a través de un elemento de polarización de CC, similar al segundo brazo de interferómetro 252 en el transmisor 200. Cabe señalar que las etapas 440 y 460 pueden ser opcionales, y el procedimiento 400 puede llevarse a cabo en el orden mostrado o en cualquier otro orden adecuado determinado por un experto en la técnica.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de otra forma de realización de un procedimiento 500 para realizar la pre-EDC. El procedimiento 500 puede ser similar al procedimiento 400 y puede implementarse en un transmisor óptico, tal como el transmisor óptico 200 o la unidad transceptora 300, y puede ser utilizado por un OLT, tal como el OLT 110, o por una ONU, tal como la ONU 120. En la etapa 510, el procedimiento 500 puede comenzar con la obtención de una pluralidad de valores de CD asociados a una pluralidad de receptores ópticos remotos conectados en una red óptica, tal como la PON 100. Por ejemplo, la cantidad de CD para cada receptor óptico remoto puede medirse durante una configuración inicial o instalación del receptor óptico remoto mediante un equipo de prueba, y los valores de CD pueden introducirse en el OLT. De forma alternativa, el procedimiento 500 puede medir la cantidad de CD durante una fase de descubrimiento de red cuando el receptor óptico remoto se une a la red durante una fase de descubrimiento de red, por ejemplo, ajustando de manera iterativa la cantidad de CD para la precompensación y determinando una estimación óptima para la cantidad de CD.

En la etapa 520, el procedimiento 500 puede precompensar una primera secuencia de señales digitales destinada a un primer receptor de los receptores ópticos remotos de acuerdo con un primer valor de los valores de CD asociado al primer receptor óptico remoto para producir una primera señal digital precompensada. En la etapa 530, el procedimiento 500 puede precompensar una segunda secuencia de señales digitales destinada a un segundo receptor de los receptores ópticos remotos de acuerdo con un segundo valor de los valores de CD asociado al segundo receptor óptico remoto para producir una segunda señal digital precompensada. Por ejemplo, el procedimiento 500 puede precompensar la primera secuencia de señales digitales y la segunda secuencia de señales digitales en el dominio de frecuencia empleando mecanismos sustancialmente similares a los descritos en la etapa 450 del procedimiento 400.

En la etapa 540, el procedimiento 500 puede generar una señal óptica precompensada a partir de la primera señal digital precompensada y la segunda señal digital precompensada empleando un esquema de modulación I/Q, por ejemplo, a través de un modulador I/Q, tal como el modulador I/Q 260. En la etapa 550, el procedimiento 500 puede transmitir la señal óptica a los receptores ópticos remotos a través de la red óptica.

La FIG. 6 es un diagrama de flujo de una forma de realización de un procedimiento 600 para procesar una señal óptica precompensada de dispersión de fibra. El procedimiento 600 puede implementarse en un receptor óptico de un dispositivo de comunicación óptica, tal como la unidad transceptora 300, y puede ser utilizado por un OLT, tal como el OLT 110, o una ONU, tal como la ONU 120. En la etapa 610, el procedimiento 600 puede recibir una señal óptica que se precompensa en función de una CD asociada al dispositivo. Por ejemplo, un transmisor, similar al transmisor 200, puede realizar la pre-EDC antes de transmitir la señal óptica. En la etapa 620, el procedimiento 600 puede convertir la señal óptica en señales eléctricas, por ejemplo, a través de una sección de entrada O/E, tal como la sección de entrada O/E 320. En la etapa 630, el procedimiento 600 puede recuperar un bloque de señales a partir de las señales eléctricas, donde las señales eléctricas pueden comprender un GI antes del bloque de señales. El GI puede no transportar datos y puede permitir la mitigación del efecto de ensanchamiento de pulso causado por la dispersión de fibra residual (por ejemplo, después de la precompensación). El GI puede configurarse empleando

mecanismos sustancialmente similares a los descritos en la Ecuación (1) o (2). Cabe señalar que el procedimiento 600 puede ser adecuado para cualquier arquitectura de receptor, tal como la arquitectura de receptor DD o la arquitectura de receptor coherente.

5 Las FIG. 7-10 ilustran y comparan los efectos de la pre-EDC en un transmisor óptico y la mejora de rendimiento proporcionada por la pre-EDC en un receptor óptico. El transmisor óptico puede ser similar al transmisor óptico 200 o a la unidad transceptora 300 y puede ubicarse en un OLT, tal como el OLT 110, o en una ONU, tal como la ONU 120. El receptor óptico puede ser similar a la unidad transceptora 300 y puede estar ubicado en el OLT o la ONU. Las FIG. 7A-8B ilustran gráficos capturados para una señal 4-PAM de 40 Gbps a través de un primer enlace de transmisión óptica que comprende una fibra de modo único estándar (SSMF) con un coeficiente de dispersión de aproximadamente 17 picosegundos por cambio de longitud de onda en nanómetros y distancia de propagación en kilómetros (ps/nm/km) y una longitud de aproximadamente 40 km. Por lo tanto, la cantidad total de CD en el primer enlace de transmisión óptica puede ser de aproximadamente 680 picosegundos por nanómetro (ps/nm). Las FIG. 9A-10C ilustran gráficos capturados para una señal OFDM con valor positivo de 40 Gbps o una señal DMT con modulación de subportadora de 16-QAM a través de un segundo enlace de transmisión óptica que comprende una fibra SSMF con un coeficiente de dispersión de aproximadamente 17 ps/nm/km y una longitud de aproximadamente 32 km, por lo que la cantidad total de CD en el segundo enlace de transmisión óptica puede ser aproximadamente de 544 ps/nm.

20 La FIG. 7A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señales de transmisor 710 para la señal 4-PAM de 40 Gbps sin pre-EDC. En el gráfico de constelación 710, el eje  $x$  representa componentes  $I$  de un campo  $E$  y el eje  $y$  representa componentes  $Q$  del campo  $E$ , donde el eje  $x$  y el eje  $y$  pueden estar en algunas unidades constantes. Los puntos 711, 712, 713 y 714 (mostrados como círculos) pueden representar el campo  $E$  de la señal de 4-PAM en el transmisor y pueden corresponder a los 4 niveles de señal proporcionados por la modulación 4-PAM. Por ejemplo, en la codificación de Gray, los puntos 711, 712, 713 y 714 pueden representar valores binarios 00, 01, 11 y 10, respectivamente. Los puntos 715, 716, 717 y 718 (mostrados como puntos sólidos) pueden representar el campo  $E$  de la señal óptica transmitida sin pre-EDC, por ejemplo, estableciendo  $D_{pre}$  a un valor de cero durante la pre-EDC. De este modo, los puntos 711, 712, 713 y 714 pueden superponerse con los puntos 715, 716, 717 y 718, respectivamente.

30 La FIG. 7B ilustra una forma de realización de un diagrama de ojo de receptor 720 para la señal 4-PAM de 40 Gbps sin pre-EDC. En el diagrama de ojo 720, el eje  $x$  representa tiempo en unidades de tiempo por período de símbolo ( $t/T_s$ ) y el eje  $y$  representa potencia recibida normalizada en algunas unidades constantes. El patrón de ojo 721 puede capturarse en el receptor después de que la señal 4-PAM se propague a través del primer enlace de transmisión óptica, por ejemplo, a través de un osciloscopio con barridos solapados o superpuestos de muchos bloques diferentes de una señal de datos digital recibida en el receptor. Las diferencias de temporización y amplitud bit a bit hacen que el patrón de ojo 721 se abra o encoja. Tal como se observa en el diagrama de ojo 720, el patrón de ojo 721 está casi completamente cerrado debido a la dispersión de fibra, donde los 4 niveles de señal de 4-PAM pueden no ser distinguibles. De este modo, el receptor puede no ser capaz de recuperar los datos originales transportados en la señal 4-PAM sin ecualización de CD.

45 La FIG. 8A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señal de transmisor 810 para la señal 4-PAM de 40 Gbps con pre-EDC. En el gráfico de constelación 810, el eje  $x$  representa una componente  $I$  de un campo  $E$  y el eje  $y$  representa la componente  $Q$  del campo  $E$ , donde el eje  $x$  y el eje  $y$  pueden estar en algunas unidades constantes. Los puntos 811, 812, 813 y 814 (mostrados como círculos) pueden representar el campo  $E$  de la señal de 4-PAM en el transmisor y pueden corresponder a los 4 niveles de señal proporcionados por la modulación 4-PAM. Los puntos 815 (mostrados como puntos sólidos) pueden corresponder a los puntos 811, 812, 813 y 814 después de la pre-EDC, por ejemplo, fijando  $D_{pre}$  a un valor opuesto en signo al valor de dispersión del primer enlace de transmisión óptica (por ejemplo,  $D_{pre} = -680$  ps/nm). Como puede observarse, los puntos 815 pueden rotarse y/o escalarse después del pre-EDC. Además, los puntos 815 pueden comprender una componente de CC o un desfase de CC de aproximadamente 0,8 o de aproximadamente 0,9 (que se muestra como 819). Cabe señalar que al separar o eliminar la componente de CC como se describió anteriormente en el procedimiento 300, los puntos 815 se pueden convertir mediante los DAC, tales como los DAC 220, con menor resolución que sin la eliminación de CC.

55 La FIG. 8B ilustra una forma de realización de un diagrama de ojo de receptor 820 para la señal 4-PAM de 40 Gbps con pre-EDC. En el diagrama de ojo 820, el eje  $x$  representa tiempo en unidades de  $t/T_s$  y el eje  $y$  representa potencia recibida normalizada en algunas unidades constantes. El patrón de ojo 821 puede capturarse en el receptor después de que la señal 4-PAM se propague a través del enlace de transmisión óptica empleando un mecanismo sustancialmente similar al descrito anteriormente con respecto a la FIG. 5. Tal como se observa en el diagrama de ojo 820, el patrón de ojo 821 se abre y los 4 niveles de señal (por ejemplo, a una potencia recibida de aproximadamente 0, aproximadamente 0,7, aproximadamente 1,4 y aproximadamente 2) de 4-PAM son claramente distinguibles. De este modo, el receptor puede recuperar los datos originales transportados en la señal 4-PAM sin ecualización de otra CD. Al comparar los diagramas de ojo 720 y 820, la pre-EDC elimina eficazmente la penalización de dispersión de fibra.

65

- La FIG. 9A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señales de transmisor 910 para la señal OFDM con valor positivo de 40 Gbps sin pre-EDC, donde las subportadoras de la señal OFDM pueden transportar símbolos de datos de 16-QAM. En el gráfico de constelación 910, el eje  $x$  representa componentes I de un campo  $E$  y el eje  $y$  representa componentes Q del campo  $E$ , donde el eje  $x$  y el eje  $y$  pueden estar en algunas unidades constantes. Los puntos 911 pueden representar el campo  $E$  de la señal OFDM en el transmisor sin pre-EDC, por ejemplo, fijando  $D_{pre}$  a un valor de cero durante la pre-EDC. Cabe señalar que OFDM emplea multiplexación de subportadora de frecuencia, donde los bits de información de datos se mapean con símbolos de datos y se transportan en subportadoras de frecuencia.
- La FIG. 9B ilustra una forma de realización de un gráfico de espectro de receptor 920 para la señal OFDM con valor positivo de 40 Gbps sin pre-EDC, donde las subportadoras de la señal OFDM pueden transportar símbolos de datos de 16-QAM. En el gráfico de espectro de receptor 920, el eje  $x$  representa frecuencia en unidades de gigahercios (GHz) y el eje  $y$  representa potencia en unidades de decibelio (dB). El espectro de receptor 921 puede representar el espectro capturado en el receptor después de que la señal OFDM se propague a través del segundo enlace de transmisión óptica. Como puede observarse, el espectro recibido 921 muestra el efecto de la dispersión de fibra, que puede ampliar el ancho de banda de canal de señales OFDM (por ejemplo, en la región 922) y distorsionar la respuesta de frecuencia en banda OFDM (por ejemplo, en la región 923).
- La FIG. 9C ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de subportadora de receptor 930 para la señal OFDM con valor positivo de 40 Gbps sin pre-EDC, donde las subportadoras de la señal OFDM pueden transportar símbolos de datos de 16-QAM. En el gráfico de constelación de subportadora 930, el eje  $x$  representa componentes I y el eje  $y$  representa componentes Q, donde el eje  $x$  y el eje  $y$  pueden estar en algunas unidades constantes. El gráfico de constelación 930 puede capturarse en el receptor después de que la señal OFDM se propague a través del segundo enlace de transmisión óptica. Los puntos de constelación 931 pueden corresponder a los puntos de constelación 16-QAM, cada uno correspondiente a bits de datos desmodulados a partir de cada subportadora. Como se puede observar, algunos de los puntos de constelación 931 están esparcidos en lugar de agruparse estrechamente en 16 grupos distintos (por ejemplo, con una cantidad sustancial de distancia entre cada grupo) y, por lo tanto, el receptor puede no ser capaz de llevar a cabo una fragmentación correctamente o de recuperar los datos originales transportados en la señal OFDM sin errores. Por ejemplo, la tasa de error de bits (BER) para la señal OFDM recibida puede ser de aproximadamente  $3E-4$ .
- La FIG. 10A ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de señales de transmisor 1010 para la señal OFDM con valor positivo de 40 Gbps con pre-EDC, donde las subportadoras de la señal OFDM pueden transportar símbolos de datos de 16-QAM. En el gráfico de constelación 1010, el eje  $x$  representa una componente I de un campo  $E$  y el eje  $y$  representa la componente Q del campo  $E$ , donde el eje  $x$  y el eje  $y$  pueden estar en algunas unidades constantes. Los puntos 1011 pueden representar el campo  $E$  de la señal OFDM en un transmisor después de la pre-EDC, por ejemplo, fijando  $D_{pre}$  a un valor opuesto en signo al valor de dispersión del segundo enlace de transmisión óptica (por ejemplo,  $D_{pre} = -544$  ps/nm). Al comparar los gráficos de constelación 910 y 1010, los puntos 1011 pueden rotarse y/o escalarse después de la pre-EDC. Como puede observarse, los puntos 1011 pueden comprender una componente de CC o un desfase de CC de aproximadamente 1,4 (que se muestra como 1019). Del mismo modo, al separar o eliminar la componente de CC como se describió anteriormente, los puntos 1011 se pueden convertir mediante los DAC, tales como los DAC 220, con menor resolución que sin la eliminación de CC.
- La FIG. 10B ilustra una forma de realización de un gráfico de espectro de receptor 1020 para la señal OFDM con valor positivo de 40 Gbps con pre-EDC, donde las subportadoras de la señal OFDM pueden transportar símbolos de datos de 16-QAM. En el gráfico de espectro de receptor 1020, el eje  $x$  representa frecuencia en unidades de GHz y el eje  $y$  representa potencia en unidades de dB. El espectro de receptor 1021 puede representar el espectro capturado en el receptor después de que la señal OFDM se propague a través del segundo enlace de transmisión óptica. Al comparar el gráfico de espectro de receptor 1020 con el gráfico de espectro de receptor 920, el espectro recibido 1021 puede no estar distorsionado y la señal OFDM puede transportarse dentro del ancho de banda de canal OFDM 1022 cuando la señal de transmisión se precompensa para la dispersión de fibra.
- La FIG. 10C ilustra una forma de realización de un gráfico de constelación de subportadora de receptor 1030 para la señal OFDM con valor positivo de 40 Gbps con pre-EDC, donde las subportadoras de la señal OFDM pueden transportar símbolos de datos de 16-QAM. En el gráfico de constelación de subportadora 1030, el eje  $x$  representa componentes I y el eje  $y$  representa componentes Q, donde el eje  $x$  y el eje  $y$  pueden estar en algunas unidades constantes. El gráfico de constelación 1030 puede capturarse en el receptor después de que la señal OFDM se propague a través del segundo enlace de transmisión óptica. Los puntos 1031 pueden corresponder a los puntos de constelación de 16-QAM recibidos para cada subportadora. Al comparar el gráfico de constelación 1030 con el gráfico de constelación 930, los puntos de constelación 1031 pueden agruparse estrechamente en 16 grupos distintos y separarse en una cantidad sustancial de distancias, de modo que el receptor puede recuperar correctamente los datos originales transportados en la señal OFDM. Por ejemplo, el receptor puede recibir la señal OFDM con un cuadrado del factor de calidad (por ejemplo, similar a una relación de señal a ruido (SNR)) de aproximadamente 18 dB.

Al menos se da a conocer una forma de realización, y variaciones, combinaciones y/o modificaciones de la(s) forma(s) de realización y/o de las características de la(s) forma(s) de realización realizadas por un experto en la técnica están dentro del alcance de la divulgación. Formas de realización alternativas que resultan de combinar, integrar y/u omitir características de la(s) forma(s) de realización también están dentro del alcance de la divulgación.

5 Cuando haya intervalos o limitaciones numéricos indicados de manera expresa, debe entenderse que tales intervalos o limitaciones expresos incluyen intervalos o limitaciones iterativos de magnitud similar que están dentro de los intervalos o limitaciones indicados de manera expresa (por ejemplo, de 1 aproximadamente a 10 aproximadamente incluye 2, 3, 4, etc.; un valor superior a 0,10 incluye 0,11, 0,12, 0,13, etc.). Por ejemplo, si se da a conocer un intervalo numérico con un límite inferior,  $R_i$ , y un límite superior,  $R_u$ , cualquier número que esté dentro del  
10 intervalo se da a conocer de manera específica. En particular, se dan a conocer específicamente los siguientes números dentro del intervalo:  $R = R_i + k * (R_u - R_i)$ , donde  $k$  es un variable que oscila entre el 1 por ciento y 100 por ciento con un incremento del 1 por ciento, es decir,  $k$  es un 1 por ciento, un 2 por ciento, un 3 por ciento, un 4 por ciento, un 7 por ciento, ..., un 70 por ciento, un 71 por ciento, un 72 por ciento, ..., un 97 por ciento, un 96 por ciento, un 97 por ciento, un 98 por ciento, un 99 por ciento o un 100 por ciento. Además, cualquier intervalo numérico  
15 definido por dos números  $R$  como los definidos anteriormente también se da a conocer de manera específica. A menos que se indique lo contrario, el término "aproximadamente" significa  $\pm 10\%$  del número subsiguiente. El uso del término "opcionalmente" con respecto a cualquier elemento de una reivindicación significa que se requiere el elemento o, como alternativa, no se requiere el elemento, estando ambas alternativas dentro del alcance de la reivindicación. Debe entenderse que el uso de términos más genéricos como "comprende", "incluye" y "que presenta", engloba el uso de términos más específicos tales como "que consiste en", "que consiste esencialmente en" y "comprendido sustancialmente por". Por consiguiente, el alcance de protección no está limitado por la descripción expuesta anteriormente, sino que está definido por las siguientes reivindicaciones, donde el alcance incluye todas las equivalencias del contenido de las reivindicaciones. Cada una de las reivindicaciones se incorpora como una divulgación adicional en la memoria descriptiva, y las reivindicaciones son formas de realización de la presente divulgación. El análisis de una referencia en la divulgación no implica que se refiera a la técnica anterior, especialmente cualquier referencia que tenga una fecha de publicación posterior a la fecha de prioridad de esta solicitud. La divulgación de todas las patentes, solicitudes de patente y publicaciones citadas en la divulgación se incorporan en el presente documento como referencia, en la medida en que proporcionan ejemplos, procedimientos u otros detalles complementarios a la divulgación.  
20  
25  
30

Si bien se han proporcionado varias formas de realización en la presente divulgación, debe entenderse que los sistemas y procedimientos dados a conocer pueden realizarse de muchas otras formas específicas sin apartarse del alcance de la presente divulgación. Los presentes ejemplos deben considerarse ilustrativos y no restrictivos, y la intención es que no deben limitarse a los detalles expuestos en el presente documento. Por ejemplo, los diversos elementos o componentes pueden combinarse o integrarse en otro sistema, o ciertas características pueden omitirse o no implementarse.  
35

Además, las técnicas, sistemas, subsistemas y procedimientos descritos e ilustrados en las diversas formas de realización como discretos o separados pueden combinarse o integrarse con otros sistemas, módulos, técnicas o procedimientos sin apartarse del alcance de la presente divulgación. Otros elementos mostrados o descritos como acoplados o directamente acoplados o que se comunican entre sí, pueden estar indirectamente acoplados o comunicarse a través de alguna interfaz, dispositivo o componente intermedio, ya sea de manera eléctrica, mecánica o de otro modo. Otros ejemplos de cambios, sustituciones y alteraciones pueden determinarse por un experto en la técnica y pueden realizarse sin apartarse del alcance descrito en el presente documento.  
40  
45

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato (300), que comprende:

- 5 una unidad de procesamiento de señales digitales, DSP, (330) configurada para realizar una precompensación de dispersión de fibra en una secuencia de señales digitales en función de un valor de dispersión para producir una señal precompensada, donde el valor de dispersión está asociado a un receptor óptico remoto;
- 10 una pluralidad de convertidores de digital a analógico, DAC, (340) acoplados a la unidad DSP (330) y configurados para convertir la señal precompensada en señales eléctricas analógicas; y  
una sección de entrada (310) acoplada a los DAC (340) y configurada para:  
convertir las señales eléctricas analógicas en una primera señal óptica; caracterizado por que el procedimiento comprende además:
- 15 añadir un campo eléctrico óptico constante a la primera señal óptica para producir una segunda señal óptica; y  
transmitir la segunda señal óptica al receptor óptico remoto,  
donde el valor de dispersión es un valor que es opuesto a una cantidad de dispersión cromática, CD,  
20 asociada al receptor óptico remoto, y la primera señal óptica comprende una pluralidad de pulsos de luz que transportan la secuencia de señales digitales, donde la CD hace que los pulsos de luz se ensanchen en una duración de ensanchamiento de pulso, y donde la unidad DSP (330) está configurada para:
- 25 insertar un primer intervalo de seguridad, GI, antes de la secuencia de señales digitales; e  
insertar un segundo GI después de la secuencia de señales digitales, donde el primer GI y el segundo GI comprenden cada uno una duración mayor que la duración de ensanchamiento de pulso.

2. El aparato según la reivindicación 1, en el que la unidad DSP (330) está configurada para:

- 30 calcular un filtro de dominio de frecuencia estático para proporcionar un efecto de dispersión correspondiente al valor de dispersión; y  
filtrar la secuencia de señales digitales con el filtro de dominio de frecuencia estático en un dominio de frecuencia.

3. El aparato según la reivindicación 1 o 2, en el que el GI comprende un número entero de períodos de símbolo, y en el que los períodos de símbolo están basados en una velocidad de transmisión en baudios de la primera señal óptica.

- 40 4. El aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la señal precompensada comprende una componente de corriente continua, CC, y en el que la unidad DSP (330) está configurada además para eliminar la componente de CC de la señal precompensada.

- 45 5. El aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además una pluralidad de amplificadores eléctricos acoplados a los DAC (340) y configurados para amplificar las señales eléctricas analógicas en función del campo eléctrico óptico constante.

6. El aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la sección de entrada (310) comprende un modulador óptico en fase/de fase en cuadratura, I/Q, que comprende:

- 50 una rama en fase, I;  
una rama de fase en cuadratura, Q;  
un primer modulador Mach-Zehnder, MZM, acoplado a la rama I; y  
un segundo MZM acoplado a la rama Q, y  
55 en el que para convertir las señales eléctricas analógicas en la primera señal óptica, el primer MZM y el segundo MZM están configurados para realizar una modulación I/Q óptica de acuerdo con las señales eléctricas analógicas.

7. El aparato según la reivindicación 6, en el que la sección de entrada óptica (310) comprende un interferómetro Mach-Zehnder, MZI, que comprende:

- 60 un primer brazo de interferómetro, donde el modulador I/Q óptico está acoplado al primer brazo de interferómetro;  
un segundo brazo de interferómetro configurado para proporcionar un diferencial de fase casi cero entre el segundo brazo de interferómetro y la rama I del modulador I/Q óptico; y  
65 un divisor óptico acoplado al primer brazo de interferómetro y al segundo brazo de interferómetro, donde el



divisor óptico está configurado con una relación de división óptica predeterminada para proporcionar el campo eléctrico óptico constante.

- 5 8. El aparato según la reivindicación 6, en el que la sección de entrada óptica comprende además un controlador de polarización automático configurado para supervisar y controlar una polarización en el primer MZM, el segundo MZM o combinaciones de los mismos.
9. Un procedimiento para su uso en un dispositivo de comunicación óptica, que comprende:
- 10 precompensar (520) una primera secuencia de señales digitales destinada a un primer receptor óptico remoto de acuerdo con un primer valor de dispersión cromática, CD, asociado al primer receptor óptico remoto para producir una primera señal digital precompensada;
- 15 precompensar (530) una segunda secuencia de señales digitales destinada a un segundo receptor óptico remoto de acuerdo con un segundo valor de CD asociado al segundo receptor óptico remoto para producir una segunda señal digital precompensada;
- generar (540) una señal óptica precompensada a partir de la primera señal digital precompensada y la segunda señal digital precompensada empleando un esquema de modulación I/Q óptico; y
- 20 transmitir (550) la señal óptica precompensada al primer receptor óptico remoto y al segundo receptor óptico remoto a través de una red óptica, caracterizado por que el primer valor de CD está asociado a una primera duración de ensanchamiento de pulso, donde el segundo valor de CD está asociado a una segunda duración de ensanchamiento de pulso, y donde el procedimiento comprende además:
- 25 insertar un intervalo de seguridad, GI, entre la primera secuencia de señales digitales y la segunda secuencia de señales digitales; y configurar el GI de modo que el GI comprenda una duración de tiempo mayor que un valor promedio de la primera duración de ensanchamiento de pulso y la segunda duración de ensanchamiento de pulso.
- 30 10. El procedimiento según la reivindicación 9, que comprende además obtener el primer valor de CD durante una fase de descubrimiento de red asociada al primer receptor óptico remoto.
11. El procedimiento según la reivindicación 9 o 10, que comprende además:
- 35 eliminar una componente de corriente continua, CC, de la primera señal digital precompensada; y añadir a la señal óptica precompensada un campo eléctrico óptico constante aproximadamente igual a la componente de CC.
12. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la señal óptica precompensada es adecuada para la detección directa, y en el que la señal óptica precompensada transporta una señal de modulación por interrupción de portadora, OOK, una señal de modulación de amplitud de pulso de n niveles, n-PAM, una señal multitono discreta, DMT, una señal duobinaria, una señal de modulación por desplazamiento de fase diferente, DPSK, o una señal de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura diferencial, DQPSK.
- 45 13. Un procedimiento para su uso en un dispositivo de comunicación óptica, caracterizado por que el procedimiento comprende:
- recibir (610) una señal óptica que se precompensa en función de una dispersión cromática, CD, asociada al dispositivo;
- 50 convertir (620) la señal óptica en señales eléctricas; y recuperar (630) un bloque de señales a partir de las señales eléctricas, donde las señales eléctricas comprenden un intervalo de seguridad, GI, situado antes del bloque de señales, y donde el GI está basado en la CD y en al menos otra CD asociada a otro dispositivo.
- 55 14. El procedimiento según la reivindicación 13, en el que el GI comprende una duración de tiempo que es mayor que una diferencia de tiempo entre un período de símbolo y un período de pulso ensanchado debido a la CD.
15. El procedimiento según la reivindicación 13 o 14, en el que recuperar el bloque de señales comprende realizar una detección directa.
- 60

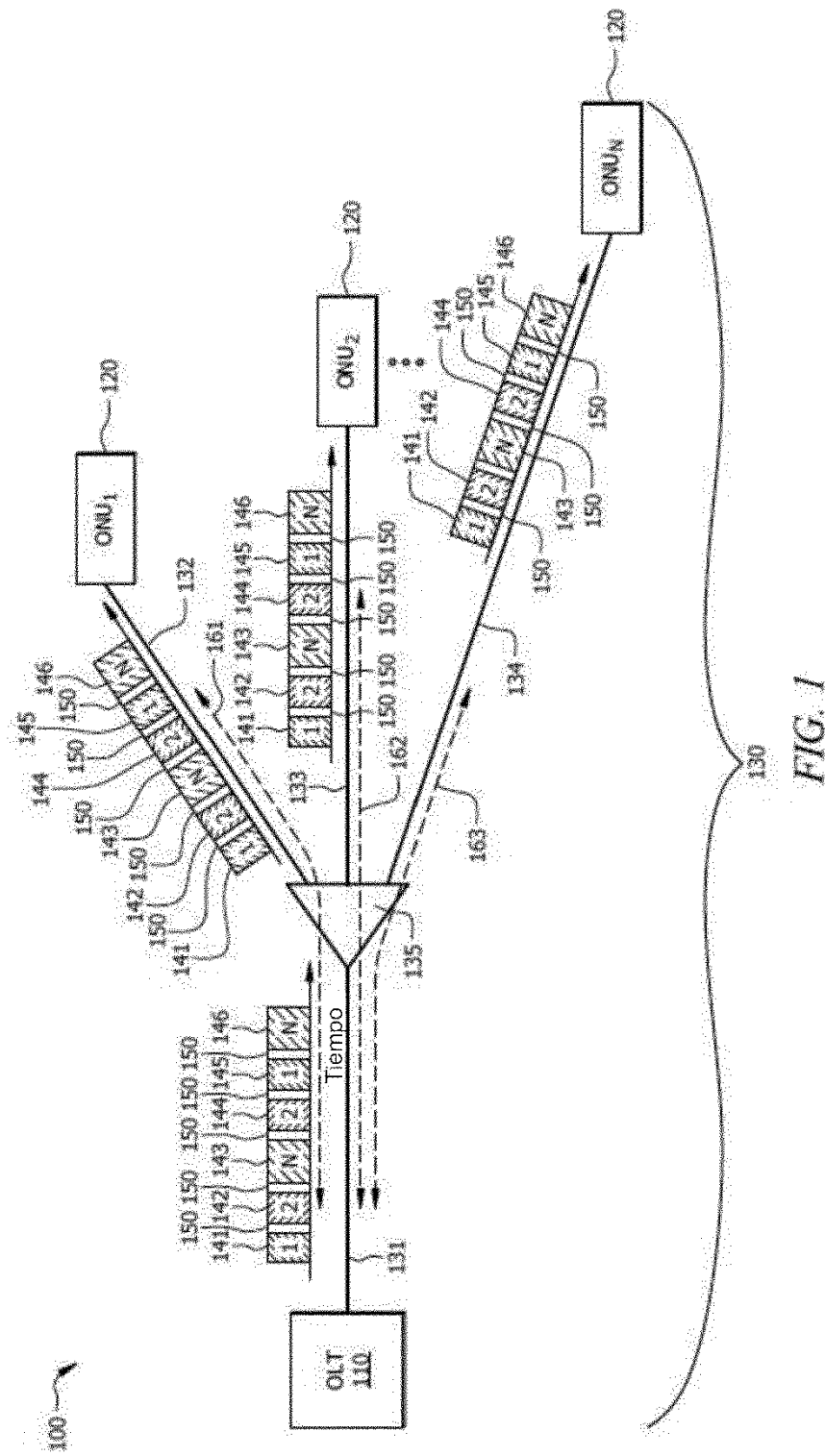


FIG. 1

200

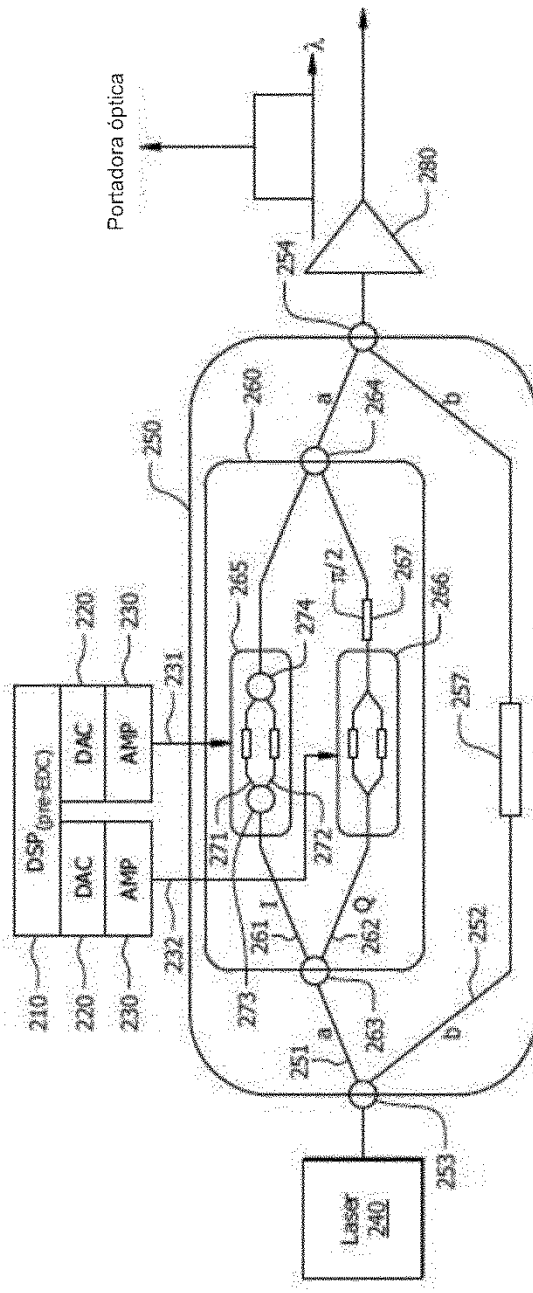
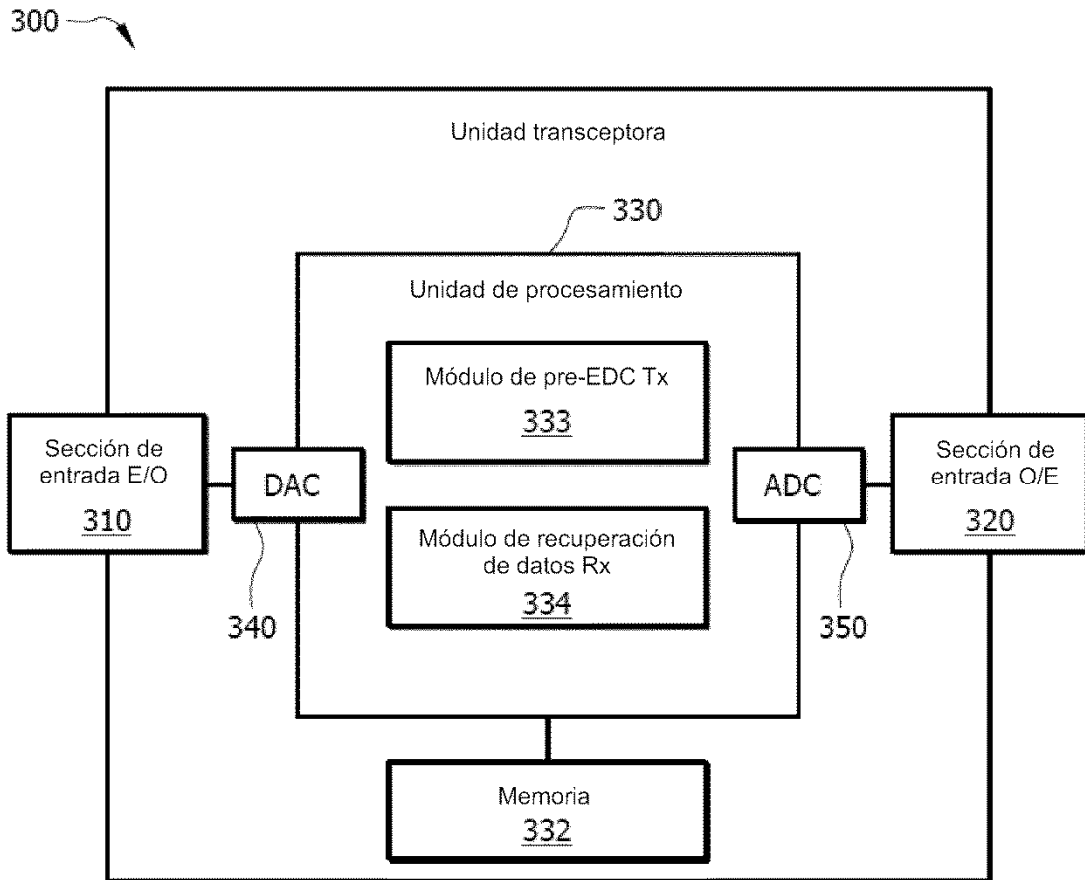


FIG. 2



*FIG. 3*

400

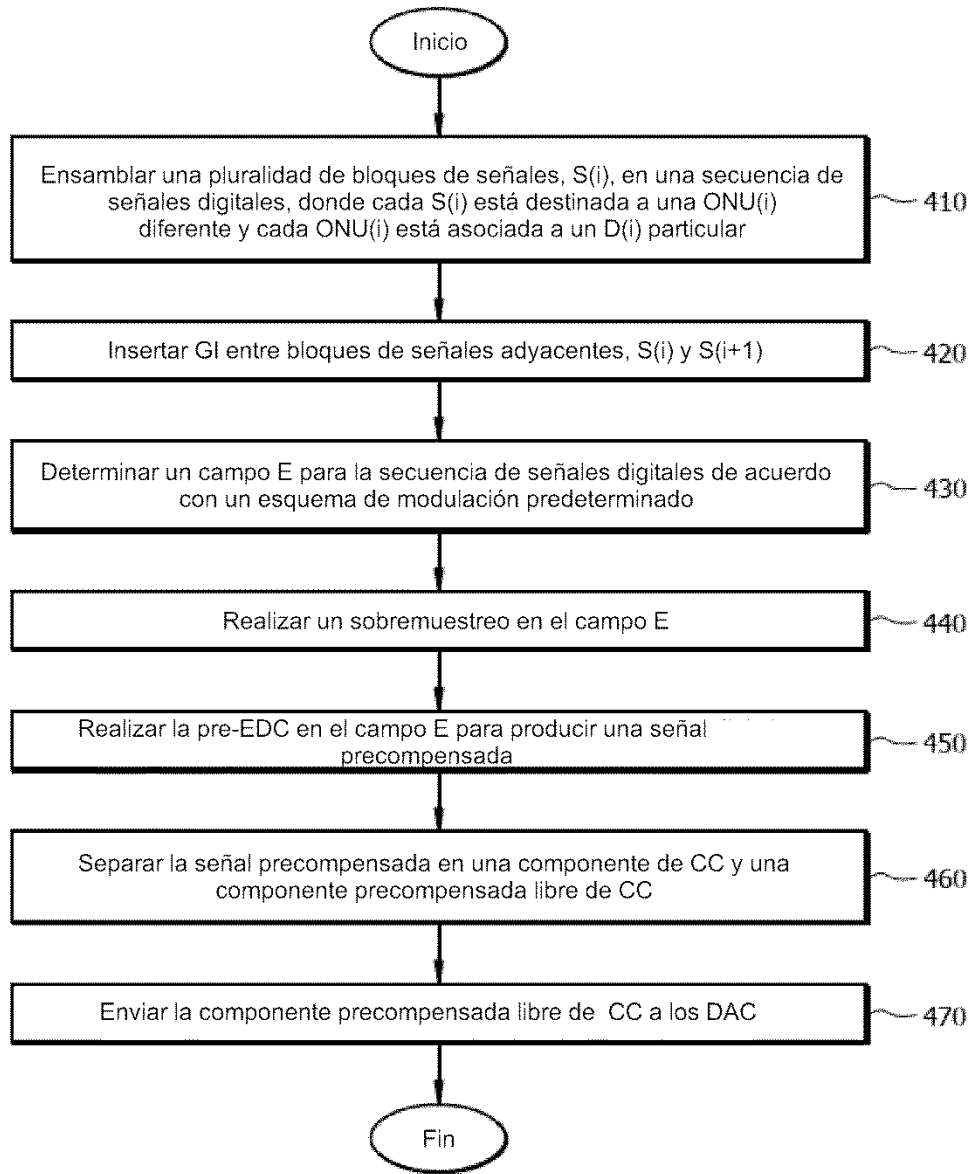


FIG. 4

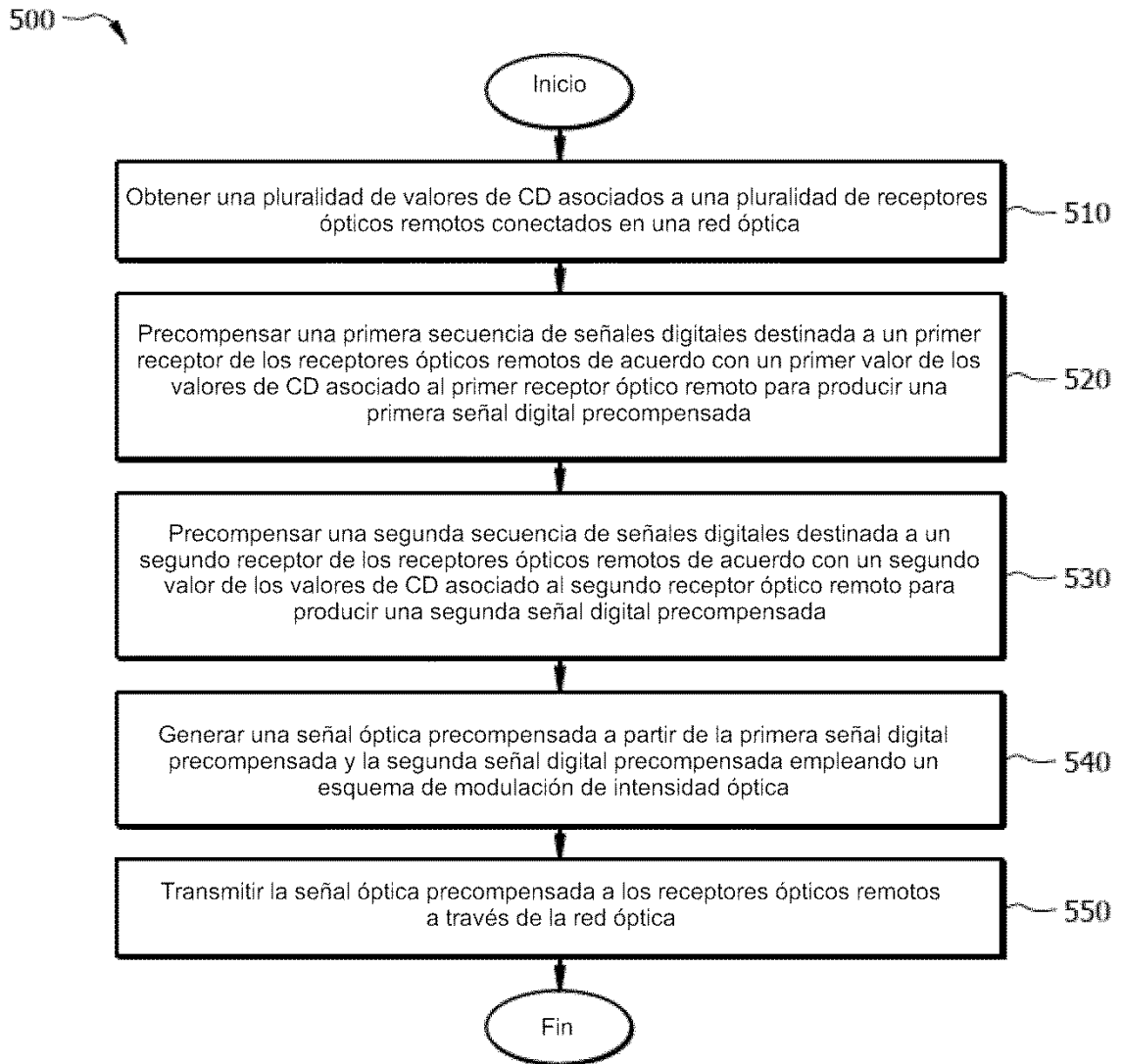
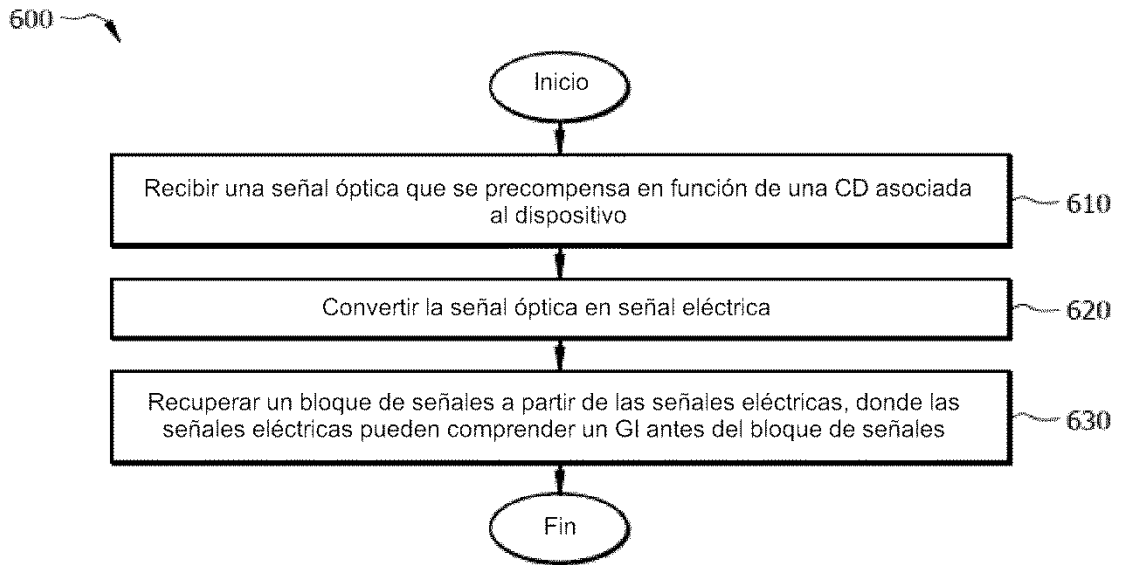


FIG. 5



*FIG. 6*

720

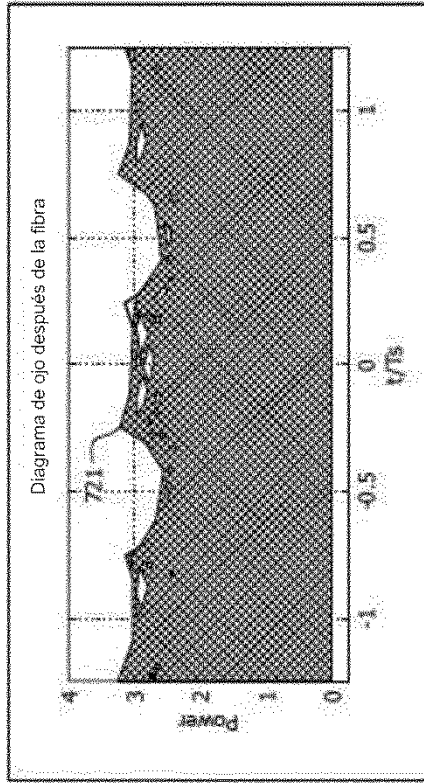


FIG. 7B

730

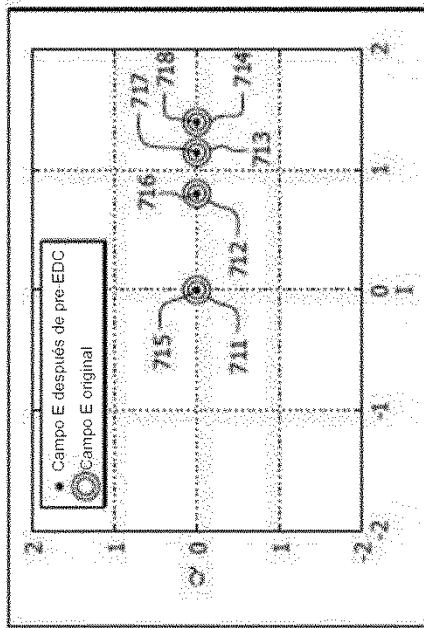


FIG. 7A



820

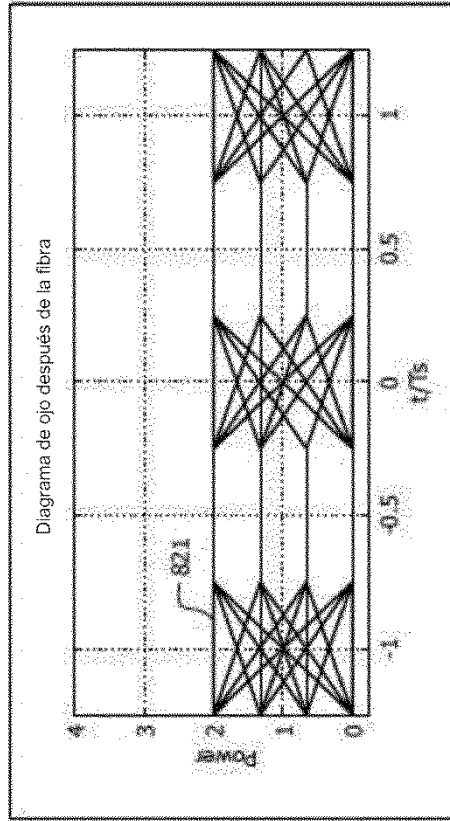


FIG. 8B

810

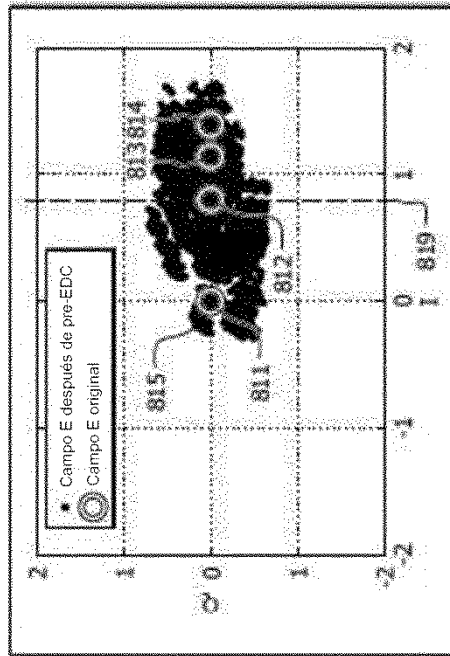


FIG. 8A

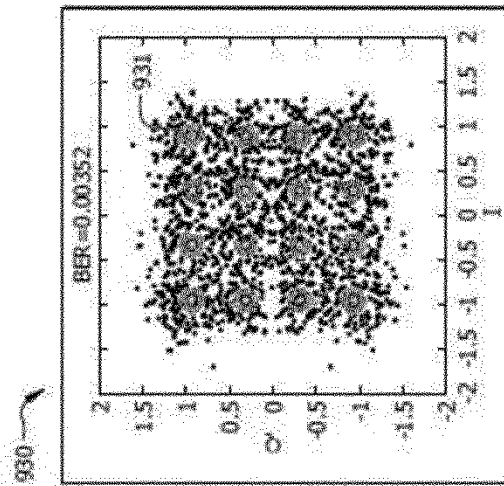


FIG. 9C

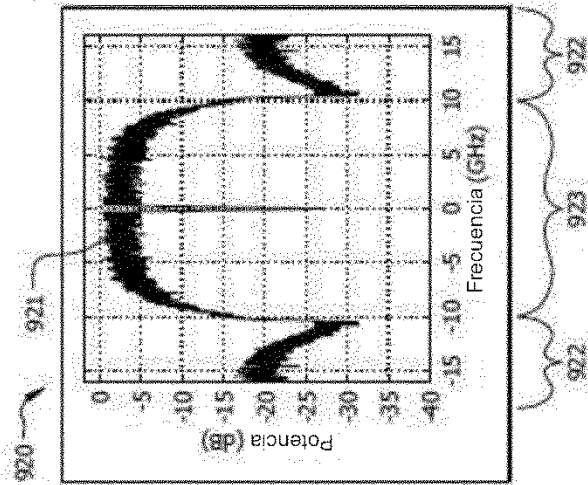


FIG. 9B

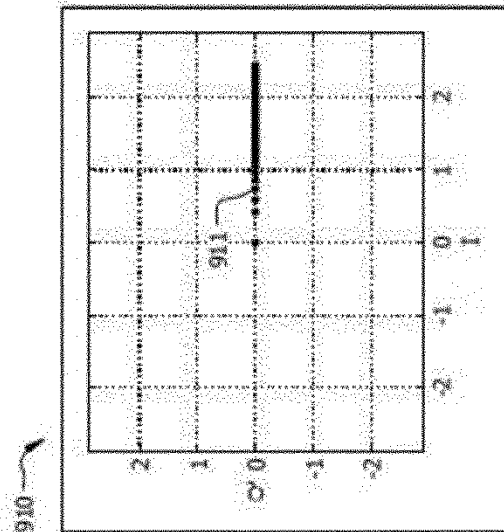


FIG. 9A

