

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 406**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/25** (2013.01)

**H04L 27/00** (2006.01)

**H04L 1/00** (2006.01)

**H04L 27/26** (2006.01)

**H04B 10/516** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.12.2015 PCT/CN2015/097386**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.07.2016 WO16112765**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2015 E 15877676 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 3235146**

54 Título: **Método y sistema para una transmisión multitono discreto con modulaciones múltiples**

30 Prioridad:

**14.01.2015 US 201514596875**

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

**18.12.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LI, CHUANDONG;  
ZHANG, ZHUHONG y  
ZAMANI, MAHDI**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 735 406 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Método y sistema para una transmisión multitono discreto con modulaciones múltiples

Campo técnico

5 Esta solicitud está relacionada con sistemas de transmisión óptica y, en particular, con sistemas de transmisión multitono discreto

Antecedentes

10 Actualmente los sistemas de comunicación óptica son ampliamente utilizados para comunicación de datos. Los sistemas de comunicación óptica pueden emplear fibras ópticas como medio de transmisión para soportar altas tasas de datos en transmisiones de larga distancia (por ejemplo, sistemas ópticos de larga distancia). Existe una demanda creciente para una tasa de datos ultra alta y un ancho de banda en redes de comunicación óptica que proporcionan retos en el diseño de redes. Por lo tanto, es deseable proporcionar elementos de red flexibles y adaptativos que permitan una tasa de datos aumentada con eficiencia de ancho de banda.

15 El documento CN103684696 muestra un sistema y un método de ecualización de canales para codificación de corrección de errores independiente de subportadora y modulación en OFDM óptica. Los datos en serie se distribuyen en un subsegmento paralelo multicanal después de atravesar un conversor serie a paralelo. En la portadora, cada subportadora realiza de forma independiente una codificación de corrección de errores y un mapeo del formato de modulación. Las subportadoras configuradas con el mismo tipo de codificación de corrección de errores y el tipo de mapeo de formato de modulación se agrupan en un grupo, y la ecualización de la potencia de transmisión se realiza para las subportadoras en el mismo grupo.

20 El documento US 2005/0276341 A1 muestra un método y un sistema para transmitir datos modulados en amplitud en cuadratura sobre canales ruidosos. Un flujo de datos se divide en paquetes con una serie de subpaquetes. Para cada uno de los canales, en una portadora se modula un subpaquete respectivo. Un dispositivo de sincronización controla un conversor serie/paralelo de modo que los subpaquetes correspondientes se envían a un codificador al menos dos veces. El codificador codifica cada subpaquete de acuerdo con una modulación QAM. El vector de señal así producido se alimenta a un transformador inverso de Fourier produciendo un vector de señal que comprende muestras a enviar en el dominio del tiempo. Este vector de señal se convierte en una serie de elementos de datos a ser transmitidos por parte de un conversor paralelo/serie y filtrados por un filtro digital. Un conversor digital-analógico convierte estos datos digitales a datos analógicos que son amplificados por un controlador de línea y enviados a través de un canal de transmisión.

30 Resumen

35 De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación se proporciona un dispositivo para una transmisión óptica con una modulación por multitono discreto (DMT). El dispositivo comprende un demultiplexor configurado para convertir datos en serie en grupos de bits y cargar en cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo los grupos de bits de datos asociados, basándose en las tasas de bit de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo. Cada una de la ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para codificar el grupo de bits de datos asociado sobre un tono asociado con el fin de realizar una asignación de potencia al grupo de bits de datos codificados, para aplicar una Transformada Rápida de Fourier (FFT) respectiva después de la asignación de potencia y realizar una conformación de pulso de forma independiente en los tonos (610, 620, 630, 640) utilizando la Transformada Rápida de Fourier respectiva, en donde una primera tasa de bits y modulación para una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo es diferente de una segunda tasa de bits y modulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo.

45 De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación se proporciona un método para una transmisión óptica con una modulación por multitono discreto (DMT). El método comprende recibir un flujo de datos en serie y convertir los datos en serie en grupos de bits y cargar en cada rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo los grupos de bits de datos asociados, basándose en las tasas de bit de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo. Cada una de la ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para codificar el grupo de bits de datos asociado sobre un tono asociado con el fin de realizar una asignación de potencia al grupo de bits de datos codificados, para aplicar una Transformada Rápida de Fourier (FFT) respectiva después de la asignación de potencia y realizar una conformación de pulso de forma independiente en los tonos (610, 620, 630, 640) utilizando la Transformada Rápida de Fourier respectiva, en donde una primera tasa de bits y modulación para una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo es diferente de una segunda tasa de bits y modulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo.

De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación se proporciona un dispositivo para procesar una transmisión óptica con una modulación por multitono discreto (DMT). El dispositivo comprende una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configuradas para procesar una señal eléctrica digital de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados, estando cada rama configurada para procesar un tono codificado de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados en ella para proporcionar bits de datos, en donde una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para procesar un primer tono de un primer formato de demodulación diferente de un segundo formato de demodulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo para un segundo tono. El dispositivo comprende, además, un multiplexor configurado para recibir los bits de datos desde cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo y convertirlos en un flujo de datos en serie.

De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación se proporciona un método para una transmisión óptica con una modulación por multitono discreto (DMT). El método comprende utilizar una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configuradas para producir bits de datos a partir de una señal eléctrica digital de la transmisión DMT, estando cada rama configurada para procesar un tono codificado de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados en ella para proporcionar bits de datos, en donde una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para procesar un primer tono de un primer formato de demodulación diferente de un segundo formato de demodulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo para un segundo tono. Los bits de datos se reciben desde cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo y los bits de datos se multiplexan en un flujo de datos en serie.

De acuerdo con aún otro aspecto de la presente divulgación se proporciona una memoria no transitoria legible por un ordenador que almacena uno o más programas, el uno o más programas comprenden instrucciones, las cuales, cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo una transmisión óptica con una modulación por multitono discreto (DMT). Se utiliza una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configuradas para producir bits de datos a partir de una señal eléctrica digital de la transmisión DMT. Cada una de las ramas está configurada para procesar un tono codificado de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados en ella para proporcionar bits de datos, en donde una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para procesar un primer tono de un primer formato de demodulación diferente de un segundo formato de demodulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo para un segundo tono. Los bits de datos se reciben desde cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo y los bits de datos se multiplexan en un flujo de datos en serie.

Breve descripción de los dibujos

Para una comprensión más completa de esta divulgación, a continuación se hace referencia a la breve descripción siguiente, junto con los dibujos adjuntos y la descripción detallada.

- 35 La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema óptico coherente;
- la FIG. 2 es un espectro en el dominio de la frecuencia de un ejemplo de una señal con modulación multitono discreto (DMT) con múltiples tonos;
- la FIG. 3 es un diagrama de bloques de un transmisor de un sistema con multimodulación DMT;
- la FIG. 4 es un diagrama de bloques de un receptor de un sistema con multimodulación DMT;
- 40 la FIG. 5 es un diagrama de bloques de una unidad DSP transmisora;
- la FIG. 6 ilustra un ejemplo de esquemas multitono tomados en la unidad DSP de la FIG. 5;
- la FIG. 7 ilustra un ejemplo de una vista del espectro de las salidas de la unidad DSP de la FIG. 5 antes del DAC;
- la FIG. 8 es un diagrama de bloques de una unidad DSP receptora;
- la FIG. 9 ilustra un esquema de tono multimodulado tomado en la unidad DSP de la FIG. 8;
- 45 la FIG. 10A ilustra un ejemplo del espectro de portadora única de una única señal modulada de portadora recibida en un único receptor de portadora;
- la FIG. 10B ilustra un ejemplo del espectro DMT-8QAM de una señal recibida en un receptor DMT;
- la FIG. 10C ilustra un ejemplo del espectro DMT de multimodulación de una señal recibida en un receptor DMT de multimodulación, con QPSK como tonos laterales y 16QAM como tono central;

la FIG. 11 ilustra los resultados de una simulación que muestra la máxima tasa de baudios que se puede conseguir frente al ancho de banda de RF;

la FIG. 12 es un diagrama esquemático de una tabla de búsqueda de ejemplo para asignación de potencia en la FIG. 10C.

5 la FIG. 13 es un diagrama de flujo que muestra un método de comunicación óptica en el transmisor;

la FIG. 14 es un diagrama de flujo que muestra otro método de comunicación óptica en el receptor;

la FIG. 15 es un diagrama de bloques de una unidad transceptora.

10 Por simplicidad y claridad de ilustración, los elementos en los dibujos no son necesariamente a escala, son únicamente esquemáticos y no son limitantes, y los mismos números de referencia en diferentes figuras representan los mismos elementos, a menos que se diga lo contrario.

Descripción detallada

15 Los elementos y dispositivos de una red de comunicación óptica como, por ejemplo, un transmisor, un receptor, un transceptor y los métodos asociados a los mismos se describen a continuación únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a las FIG. 1-15. En la presente divulgación, el transmisor y el receptor son configurables para utilizar un esquema de modulación por multitono discreto (DMT) para las comunicaciones. En la modulación DMT, se codifica una pluralidad de tonos (o subcanales, subportadoras, ramas) con bits de información a transmitir. En la descripción, los términos "tonos", "subcanales", "subportadoras", "canales" y "ramas" se pueden utilizar indistintamente. A menos que existan transceptores que utilicen el mismo formato de modulación para múltiples tonos, la técnica divulgada puede aumentar la tasa de datos utilizando diferentes formatos de modulación. Con los diferentes formatos de modulación, se pueden codificar múltiples tonos utilizando una carga de bit (tasa de bits) flexible donde se puede optimizar el grupo de bits de datos cargados en cada tono. Además, se puede optimizar la asignación de potencia a cada tono de modo que en los múltiples tonos se utilizan modulaciones diferentes con potencias diferentes. Estos esquemas de carga de bit y asignación de potencia flexibles se pueden basar en la materialización digital de una señal de una única onda con tonos multimodulados. El transmisor y el receptor incluyen elementos programables mediante software que pueden permitir varios esquemas de transmisión o formatos de modulación, tasas de datos, tasas de bits, asignaciones de potencia, varios esquemas de compensación y una serie de tonos a configurar.

20 Un dispositivo para una transmisión óptica con modulación por multitono discreto (DMT) puede incluir: un demultiplexor configurado para convertir datos en serie en grupos de bits y cargar en cada una de la ramas de procesamiento paralelo un grupo asociado de bits de datos, en función de las tasas de bits de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo, y estando cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configurada para codificar el grupo asociado de bits de datos en un tono asociado, para realizar una asignación de potencia al grupo de bits de datos codificado, con el fin de aplicar una Transformada Rápida de Fourier respectiva después de la asignación de potencia y realizar una conformación de pulsos independientemente de los tonos que estén utilizando la Transformada Rápida de Fourier, siendo una primera tasa de bits y una modulación para una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo diferente de una segunda tasa de bits y una modulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo.

30 Un método para una transmisión óptica con modulación por multitono discreto (DMT) puede incluir: recibir un flujo de datos en serie; y convertir los datos en serie en grupos de bits y cargar en cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo un grupo asociado de bits de datos, en función de las tasas de bits de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo, estando cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configurada para codificar el grupo asociado de bits de datos en un tono asociado, para realizar una asignación de potencia al grupo de bits de datos codificado, con el fin de aplicar una Transformada Rápida de Fourier después de la asignación de potencia y realizar una conformación de pulsos independientemente de los tonos que estén utilizando la Transformada Rápida de Fourier respectiva, siendo una primera tasa de bits y una modulación para una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo diferente de una segunda tasa de bits y una modulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo.

40 Un dispositivo para procesar una transmisión óptica con modulación por multitono discreto (DMT) puede incluir: una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configuradas para procesar una señal eléctrica digital de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados, estando cada rama configurada para procesar un tono codificado de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados en ella para proporcionar bits de datos, en donde una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para procesar un primer tono de un primer formato de demodulación diferente de un segundo formato de demodulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo para un segundo tono, y un multiplexor

configurado para recibir bits de datos desde cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo y convertirlos en un flujo de datos en serie.

Un método para una transmisión óptica con modulación por multitono discreto (DMT) puede incluir: utilizar una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configuradas para producir bits de datos a partir de una señal eléctrica digital de la transmisión DMT, estando cada rama configurada para procesar un tono codificado de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados en ella para proporcionar bits de datos, en donde una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para procesar un primer tono de un primer formato de demodulación diferente de un segundo formato de demodulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo para un segundo tono, y recibir los bits de datos desde cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo y multiplexar los bits de datos en un flujo de datos en serie.

Se puede proporcionar una memoria no transitoria legible por un ordenador que almacena uno o más programas, comprendiendo los uno o más programas instrucciones, las cuales, cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador aplique un método para una transmisión óptica con una modulación por multitono discreto (DMT).

La transmisión óptica DMT puede incluir: recibir datos en serie; y convertir los datos en serie en grupos de bits y cargar en cada una de la ramas de procesamiento paralelo un grupo asociado de bits de datos, en función de las tasas de bits de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo, estando cada una de las ramas configurada para codificar el grupo asociado de bits de datos en un tono asociado, siendo una primera tasa de bits y una modulación de una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo diferente de una segunda tasa de bits y una modulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo.

La transmisión óptica DMT puede incluir: utilizar una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo configuradas para producir bits de datos a partir de una señal eléctrica digital de la transmisión DMT, estando cada rama configurada para procesar un tono codificado de la transmisión DMT con una pluralidad de tonos codificados en ella para proporcionar bits de datos, en donde una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo está configurada para procesar un primer tono de un primer formato de demodulación diferente de un segundo formato de demodulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo para un segundo tono, y recibir los bits de datos desde cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo y multiplexar los bits de datos en un flujo de datos en serie.

La FIG. 1 ilustra un sistema óptico coherente 100, el cual forma parte de una red óptica de comunicación. El sistema óptico coherente 100 incluye un transmisor 110 y un receptor 130. El transmisor 110 está situado en el lado transmisor de la red óptica de comunicación y se puede configurar para enviar señales ópticas a través del enlace óptico 120 a uno o más de los receptores 130 situados en el lado receptor de la red óptica de comunicación. En la FIG. 1, el transmisor 110 y el receptor 130 se muestran por separado únicamente con el propósito de ilustración. El transmisor 110 y el receptor 130 se pueden integrar para formar un único dispositivo transceptor para comunicaciones de datos bidireccionales.

El transmisor 110 y el receptor 130 incluyen un sistema de múltiples tonos que puede utilizar una modulación DMT para las comunicaciones. La separación entre tonos vecinos se puede optimizar en función de, por ejemplo, limitaciones de ancho de banda (resp. precisión de recuperación de reloj) para valores de separación altos (resp. bajos). La modulación de los multitonos ( $N$  tonos,  $N > 1$ ) se optimiza utilizando diferentes formatos de modulación en los que un formato de modulación para un tono puede ser diferente del de otro tono. Los formatos de modulación pueden incluir, por ejemplo, una modulación de amplitud en cuadratura (QAM)  $M$  (por ejemplo,  $M=8, 16, 32, 64, 256, \dots$ ), una modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK), una modulación por Desplazamiento de Fase Binaria (BPSK), o cualquier variante de polarización dual de estas formas de modulación. Un ejemplo de señal transmitida desde el transmisor 110 es una única onda con  $N$  tonos modulados, la cual puede incluir componentes de polarización lineales ortogonales ( $X$  e  $Y$ ) en donde cada componentes de polarización incluye dos componentes de fase ortogonal (en fase y en cuadratura). La asignación de diferentes formatos a los tonos se puede determinar en función de las características del tono (por ejemplo, ancho de banda, SNR).

El transmisor 110 incluye una unidad transmisora basada en procesamiento de señales digitales (DSP) (denominada "DSP TX") 112, la cual se implementa como componentes software DSP o una combinación de software y hardware. En el DSP TX 112, los bits de información entrantes se procesan en ramas en paralelo, cada una de ellas asociada con un tono. El DSP TX 112 está configurado para codificar o mapear los flujos de bits de información a símbolos utilizando una pluralidad de formatos de modulación. El DSP TX 112 puede incluir un codificador de polarización para codificar (o transformar) los símbolos. En la descripción, el término "codificación", "mapeo" y modulación" se pueden utilizar indistintamente. El DSP TX 112 está configurado para optimizar la carga de bits en las  $N$  ramas para  $N$  tonos con un esquema flexible de carga de bits donde pueden ser diferentes las tasas de bits para al menos dos tonos. La carga de bits en  $N$  tonos se puede determinar en

función de la configuración de modulación y/o las características del tono (por ejemplo, ancho de banda del canal disponible, SNR). El DSP TX 112 está configurado para optimizar la asignación de potencia a uno o más de los símbolos con un esquema flexible de asignación de potencia. El transmisor 110 puede incluir componentes para conformación de pulsos y/o componentes para compensación de la distorsión de señales. El transmisor 110  
 5 puede incluir un frontal 114 para la transmisión de señales ópticas a uno o más de los receptores 130 a través del enlace óptico 120.

El receptor 130 incluye una unidad receptora basada en procesamiento de señales digitales (DSP) (denominada "DSP RX") 132, la cual se implementa como componentes software DSP o una combinación de software y hardware. En el DSP RX 132, la señal entrante se demultiplexa en señales con N tonos, los cuales se procesan  
 10 en paralelo. El DSP RX 132 está configurado para decodificar los N tonos modulados recibidos de uno o más de los transmisores 110 utilizando múltiples formatos de demodulación, en donde el formato de demodulación de uno de los tonos puede ser diferente de otro formato de demodulación de otro de los tonos. El receptor 130 puede incluir otros componentes como, por ejemplo, componentes para la compensación de la distorsión de señales, incluyendo una compensación por dispersión cromática (CDC). El receptor 130 puede incluir un frontal  
 15 134 para la recepción de señales ópticas desde uno o más de los transmisores 110 a través del enlace óptico 120.

El reacondicionamiento de la señal se puede aplicar en el dominio analógico y/o en el dominio digital con el fin de mejorar la calidad de la señal. Se pueden repetir el muestreo y/o la temporización a las señales digitales para alinearlas y mantener la misma temporización y duraciones de símbolo que el transmisor 110.

El enlace óptico 120 puede incluir filtros ópticos como, por ejemplo, conmutadores selectivos de longitud de onda en cascada (WSS), fibra, amplificadores y otros componentes. El enlace óptico 120 puede incluir fuentes de dispersión cromática (CD), ruido de fase no lineal, dispersión del modo de polarización (PMD), pérdida dependiente de la polarización (PDL), ganancia dependiente de la polarización, rotación de polarización y ruido blanco Gaussiano óptico. El sistema óptico coherente 100 está configurado para compensar la distorsión de las  
 20 señales debida a las deficiencias del enlace óptico 120 y/o los WSS.

La FIG. 2 ilustra un ejemplo de espectro de una señal DMT 200 de una única onda con múltiples tonos 210, 220 y 230. En la FIG. 2 se muestran únicamente a modo de ejemplo tres tonos: un tono central 210 y dos tonos laterales 220 y 230. El eje x representa un rango de frecuencia radio y el eje y representa la amplitud. La señal DMT se puede obtener en el DSP TX 112 de la FIG. 1 donde para el tono central (210) se puede utilizar un  
 30 formato de modulación de orden superior mientras que para los tonos laterales (220, 230) se puede utilizar un formato de modulación de orden inferior.

La FIG. 3 ilustra un transmisor 300 de un sistema DMT multimodulación. El transmisor 300 incluye una unidad transmisora basada en DSP (denominada "DSP TX") 310. El DSP TX 310 se puede corresponder con el DSP TX 112 de la FIG. 1. En la FIG. 3, existen múltiples ramas de procesamiento en paralelo (el número total es "i"), una  
 35 para cada tono. El DSP TX 310 codifica o mapea los flujos de bits entrantes utilizando unidades 314 de codificación (Mod1, Mod2, ..., Modi, i>1). En una estructura multiplexada de división de polarización, la unidad de codificación (por ejemplo, Mod1) en una rama tiene dos ramas para dos componentes de polarización, y la unidad de codificación realiza una modulación de símbolos en cada una de las dos ramas. El DSP TX 310 incluye un módulo 312 para convertir un flujo de bits de entrada en N flujos de bits (N grupos de bits) para N ramas  
 40 y cargar cada una de las N ramas con el grupo de bits de datos asociado. Cada grupo de bits de datos consta de uno o más bits del flujo de bits de entrada, los cuales se cargan en la rama asociada para codificar el grupo de bits de datos en un tono para generar un símbolo. Un grupo de bits de datos para generar un símbolo se asigna de forma flexible a una rama para su codificación en función del formato de modulación asociado. El DSP TX 310 incluye una pluralidad de asignadores de potencia (Pow1, Pow2, ..., Powi) estando configurado cada uno de ellos  
 45 para ajustar la potencia de cada símbolo en una rama con el fin de dividir la potencia total entre los símbolos. La asignación flexible de potencia se puede implementar utilizando una tabla de búsqueda (LUT) 330. La LUT 330 puede ser interna o externa al DSP TX 310. La LUT 330 o los valores de la LUT 330 se pueden proporcionar a través de una red de comunicaciones.

El DSP TX 310 puede incluir un codificador FEC 318 para procesar los bits de información entrantes. El DSP TX 310 puede incluir un módulo 320 para multiplexar los tonos modulados. El módulo 320 puede incluir componentes para compensar la distorsión y la conformación de pulsos. La compensación y la conformación de pulsos se pueden implementar en cada una de las ramas en paralelo. La compensación y la conformación de pulsos se pueden implementar en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia. El transmisor 300 puede incluir un  
 50 frontal 350 para la transmisión de las señales moduladas desde el DSP TX 310 a un enlace óptico (por ejemplo, el 120 de la FIG. 1). El frontal 350 se puede corresponder con el frontal 114 de la FIG. 1. El frontal 350 puede estar acoplado en comunicación con el DSP TX 310 mediante un conversor digital analógico (DAC) 340. El frontal 350 puede incluir un modulador 352, por ejemplo, un conversor eléctrico óptico (E/O), un controlador, un amplificador, un filtro, un laser, un modulador en fase y en cuadratura de fase Multiplexado por división de polarización (PM) (PM-I&Q), y otros componentes eléctricos y/u ópticos.

En una implementación del DSP TX 310, se utilizan modulaciones de orden inferior en los tonos laterales de N tonos y las modulaciones de orden superior se utilizan en los tonos centrales. Asignando diferentes formatos de modulación a los múltiples tonos en una eficiencia espectral física se aumenta la tolerancia del ancho de banda y, por lo tanto, se incrementa la máxima tasa de baudios (y en correspondencia la tasa de datos) que se puede conseguir. En una implementación del DSP TX 310, la asignación flexible de potencia entre N tonos se implementa en función del ancho de banda disponible y/o la diferencia de SNR requerida entre los diferentes formatos de modulación. Se puede configurar la asignación flexible de potencia para mantener la tasa de error de bit (BER) total en su valor más bajo.

La FIG. 4 ilustra un receptor 400 de un sistema DMT multimodulación. El receptor 400 incluye una unidad receptora DSP (denominada "DSP RX") 410. El DSP RX 410 se puede corresponder con el DSP RX 132 de la FIG. 1. El receptor 400 está configurado para decodificar los datos transmitidos desde uno o más transmisores (por ejemplo, el 300 de la FIG. 3) utilizando múltiples formatos de demodulación. El DSP RX 410 incluye un módulo 414 para demultiplexar en N tonos un espectro de señal de una señal de entrada. Existen múltiples ramas de procesamiento paralelo (el número total es "i"), una para cada tono. El DSP RX 410 decodifica los tonos modulados utilizando una pluralidad de unidades 412 de decodificación (DeMod1, DeMod2, ..., DeModi, i>1). Las unidades 412 de decodificación utilizan múltiples formatos de demodulación asociados a los múltiples formatos de demodulación utilizados en el lado transmisor (por ejemplo, el 300 de la FIG. 3) donde un formato de demodulación (por ejemplo, DeMod1) puede ser diferente de otro formato (por ejemplo, DeMod2).

El DSP RX 410 puede incluir un conversor paralelo serie 416 para serializar los bits decodificados con el fin de restaurar su orden original, recuperando de este modo una señal de datos con información en serie. El DSP RX 410 puede incluir otros componentes como, por ejemplo, componentes para la compensación de la distorsión de las señales, por ejemplo, ecualizadores CDC. La compensación se puede implementar en cada una de las ramas en paralelo. El DSP RX 410 puede incluir un decodificador FEC 418. En el DSP RX 410 se pueden compensar digitalmente deficiencias del canal casi estáticas y también deficiencias del hardware como, por ejemplo, rotaciones del estado de polarización (SOP), dispersión del modo de polarización (PMD), pérdida dependiente de la polarización (PDL), ruido de fase del láser, PPM, desplazamiento de frecuencia, retardo I-Q y X-Y, desequilibrio I-Q, etc. El DSP RX 410 puede incluir una unidad de recuperación de portadora (CR) en cada rama.

El receptor 400 puede incluir una unidad receptora coherente 440 para recibir señales ópticas desde un enlace óptico (por ejemplo, el 120 de la FIG. 1). La unidad receptora coherente 440 se puede corresponder con el frontal 134 de la FIG. 1. La unidad receptora coherente 440 puede separar la señal óptica recibida en componentes de polarización ortogonal (por ejemplo, un componente de polarización X y un componente de polarización Y) y componentes de fase ortogonal (por ejemplo, un componente en fase (I) y un componente en fase en cuadratura (Q)). La unidad receptora coherente 440 puede convertir los componentes de señal óptica independientes en múltiples señales eléctricas analógicas o componentes, donde cada componente I o Q son componentes de polarización. La unidad receptora coherente 440 puede estar acoplada en comunicación con el DSP TX 410 mediante un conversor analógico digital (ADC) 430. La unidad receptora coherente 440 puede incluir un oscilador local (LO), un mezclador y un foto detector (por ejemplo, un diodo tipo p/intrinseco/tipo n (PIN)).

La FIG. 5 ilustra una unidad transmisora DSP 500. La unidad DSP (denominada "DSP TX") 500 se puede corresponder con el DSP TX 112 de la FIG. 1 o el DSP TX 310 de la FIG. 3. El DSP TX 500 puede estar acoplado a un frontal (por ejemplo, el 114 de la FIG. 1 o el 350 de la FIG. 3) mediante un DAC (por ejemplo, el 340 de la FIG. 3). El DSP TX 500 es un componente de un transmisor o un transceptor óptico coherente. Existen cuatro ramas (B1, B2, B3 y B4) para cuatro tonos. En este ejemplo se supone que el número total de tonos (ramas) es cuatro. El número de tonos (ramas) no se limita a cuatro y los componentes se pueden escalar en función del número de tonos. En el DSP TX 500 los datos se procesan en una estructura en paralelo y, a continuación, se multiplexan para transmitir una única señal DMT modulada de onda con cuatro tonos a un lado receptor. El DSP TX 500 incluye unidades 530 de codificación (por ejemplo, Mod1, Mod2, Mod3, Mod4), capaces de utilizar diferentes formatos de modulación. El DSP TX 500 puede incluir un codificador FEC 510 para procesar los bits de entrada. Los bits de información entrantes se pueden procesar en el codificador FEC 510 y los bits de información a continuación del codificador FEC 510 se pueden paralelizar en un multiplexor (MUX) 520 utilizando un conversor serie paralelo. La unidad de codificación en una rama se configura para codificar o mapear el flujo de bits de información (grupo de bits de datos) asociado en la rama sobre un tono con una tasa de bits única. La unidad de codificación mapea cada uno de los componentes de polarización X y de polarización Y al símbolo correspondiente.

En una implementación del DSP TX 500, la proporción de asignación de bits a cada rama está directamente relacionada con el número de bits por símbolo de su formato de modulación correspondiente. Por ejemplo, si los formatos de modulación para las ramas laterales son ambas QPSK y los formatos de modulación para las ramas centrales son ambos 16QAM, la asignación de tasa de bits a las ramas primera y cuarta es la mitad que la de las ramas segunda y tercera. Por lo tanto, para cada 6 bits de entrada del módulo serie paralelo (esto es, el MUX 520), cada una de las unidades de codificación de las ramas laterales (por ejemplo, Mod1 y Mod4) recibe 1 bit y cada una de las unidades de codificación de las ramas centrales (por ejemplo, Mod2 y Mod3) recibe 2 bits. En

este ejemplo, las tasas de bit de entrada de las ramas centrales es el doble que las de las ramas laterales. A continuación, los bits de entrada de cada una de las ramas se mapean en sus correspondientes símbolos de modulación DMT. A partir de este punto, las tasas de símbolo de todas las ramas son las mismas. En una estructura multiplexada de polarización, este proceso se aplica a cada una de las polarizaciones.

5 El DSP TX 500 realiza una asignación flexible de potencia a cada una de las ramas con el fin de resaltar uno o más símbolos DMT. En una estructura multiplexada de polarización, este proceso se aplica a cada una de las polarizaciones. La asignación de potencia puede ser implementada por mezcladores 540. La asignación de potencia se puede implementar después de normalizar la RMS de los símbolos en cada rama. En una implementación, se optimiza la asignación de potencia para cada tono para conseguir el menor BER total. Por ejemplo, los símbolos en las ramas centrales (por ejemplo, B2, B3) se multiplican por un factor de potencia de 2 (por ejemplo, PA2, PA3=2; PA1, PA4=1), lo cual compensa la diferencia de SNR requerida entre QPSK y 16QAM, transmitiendo de este modo los tonos centrales con una SNR 6dB más alta.

10 Con el fin de optimizar la asignación de potencia y la carga de bits, en una implementación se puede utilizar un algoritmo de carga del transceptor multitonos como, por ejemplo, el algoritmo de Chow divulgado en "A Practical Discrete Multitone Transceiver Loading Algorithm for Data Transmission over Spectrally Shaped Channels (Un Algoritmo de Carga de Transceptor Multitono Discreto Práctico para Transmisión de datos sobre Canales Conformados Espectralmente)" (IEEE Trans. Communications, vol. 4, núm. 2/3/4, pág. 773-775, 1995).

15 El DSP TX 500 puede incluir un módulo para convertir los símbolos después de la asignación de potencia en señales de subcanal en el dominio de la frecuencia. El DSP TX 500 puede incluir módulos 560 de conformación de pulsos (PS) para conformación de pulsos, cada uno asignado a una rama. Los módulos 560 de PS pueden implementar conformación de pulsos de forma independiente sobre los tonos utilizando una FFT pequeña discreta 550. La conformación de pulsos se puede implementar en el dominio del tiempo. El DSP TX 500 puede incluir uno o más componentes adicionales para una compensación previa de la distorsión de las señales en cada rama. La señal, para ser transmitida después de las compensaciones previas puede atravesar un DAC (por ejemplo, el 340 de la FIG. 3) y un modulador (por ejemplo, el 352 de la FIG. 2). El DSP TX 500 puede incluir una IFFT 570 para transmitir muestras de señales moduladas y multiplexadas en el dominio del tiempo discreto. La IFFT 570 puede tener un número suficiente de taps (coeficientes FIR) para dar como resultado una señal con cuatro tonos modulados.

20 La FIG. 6 ilustra un esquema de tonos multimodulados tomados en el DSP TX 500 de la FIG. 5. En la FIG. 6 se ilustran de forma esquemática los cuatro tonos 610, 620, 630, 640 de frecuencia modulados en el dominio de la frecuencia. En la salida de la IFFT 570, el espectro de una señal de salida de la IFFT 570 tiene cuatro tonos modulados 650 (en general N tonos modulados).

25 La FIG. 7 ilustra un ejemplo de vista del espectro 700 de una salida del DSP TX 500 de la FIG. 5 antes del DAC (por ejemplo, el 340 de la FIG. 3). El eje x representa la frecuencia y el eje y representa la amplitud. El espectro 700 de la salida incluye los componentes 710 y 740 en las ramas laterales para los dos tonos laterales de los 4 tonos y los componentes 720 y 730 en las ramas centrales para los 2 tonos centrales de los 4 tonos. Los componentes 710 y 740 se obtienen, por ejemplo, en B1 y B4 de la FIG. 5, y los componentes 720 y 730 se obtienen, por ejemplo, en B2 y B3 de la FIG. 5.

30 La FIG. 8 ilustra una unidad DSP receptora 800. La unidad DSP (denominada "DSP RX") 800 es un componente de un transceptor óptico coherente. El DSP RX 800 se puede corresponder con el DSP RX 132 de la FIG. 1 o el DSP RX 410 de la FIG. 4. El DSP RX 800 puede estar acoplado a un frontal (por ejemplo, el 134 de la FIG. 1) o a una unidad receptora coherente (por ejemplo, la 440 de la FIG. 4) mediante un ADC (por ejemplo, el 430 de la FIG. 4). En el DSP RX 800 se procesa una señal de entrada con cuatro tonos modulados en una estructura en paralelo de acuerdo con un esquema de un transmisor (por ejemplo, el 500 de la FIG. 5). En este ejemplo se supone que el espectro de frecuencia de la señal de entrada se demultiplexa en cuatro tonos, sin embargo, el número de tonos no se encuentra limitado a cuatro. El DSP RX 800 incluye unidades 860 de decodificación (por ejemplo, DeMod1, DeMod2, DeMod3, DeMod4), capaces de utilizar diferentes formatos de demodulación. Los formatos de demodulación se corresponden con los formatos de modulación utilizados en el transmisor. El DSP RX 800 decodifica o demodula los símbolos en función de los formatos de demodulación en donde uno de los formatos de demodulación (por ejemplo, DeMod1) puede ser diferente de otro formato de demodulación (por ejemplo, DeMod2).

35 El DSP RX 800 puede utilizar una FFT 810 para demultiplexar o trocear el espectro de frecuencia de una señal recibida de una única onda en cuatro tonos de frecuencia, que se puede implementar después de la compensación de filtros. El DSP RX 800 puede incluir un filtro de correspondencia, componentes para componentes de compensación como, por ejemplo, compensaciones CD (CDC) 820 y ecualizadores MIMO 840. Las salidas de los CDC 820 se pueden conectar a IFFT 830 pequeñas. Los ecualizadores MIMO 840 se pueden utilizar para un canal óptico coherente de polarización multiplexado. El DSP RX 800 puede incluir bloques de

recuperación de portadora (CR) 850 para realizar un seguimiento y compensar cualquier diferencia en frecuencia y/o fase entre el oscilador en el transmisor y el oscilador local en el lado receptor.

5 La señal de cada polarización, después de la compensación posterior, se puede demultiplexar en cuatro tonos DMT de acuerdo con el transmisor correspondiente (por ejemplo, el 500 de la FIG. 5). Después de procesar los tonos y decodificarlos en una estructura en paralelo, los bits decodificados de cada una de las ramas (con diferentes tasas de bits en función de sus formatos de modulación correspondientes) se pueden serializar utilizando un conversor paralelo serie (por ejemplo, el multiplexor 870), recuperando de este modo la señal con datos de información en serie.

10 La FIG. 9 ilustra un esquema de tonos multimodulados tomado en el DSP RX 800 de la FIG. 8. En la FIG. 9, la FFT 810 da como resultado cuatro tonos modulados 900 en el dominio de la frecuencia, los cuales se procesan en los CDC 820 y se convierten en las IFFT 830. En la salida de las IFFT 830, el espectro de la señal modulada en el dominio del tiempo tiene cuatro tonos 910 modulados.

15 En DMT, debido a los vacíos en el espectro de la señal, en el dominio de la frecuencia se puede estimar de forma precisa una Oscilación de Baja Frecuencia (LOFO). En el CD DMT se puede compensar cada tono de forma independiente. Como el CD se ajusta a una función parabólica de frecuencia, la disminución del ancho de banda del tono en  $M$  provoca el descenso de la resolución de FFT en  $M^2$ . Esto provoca la reducción de los recursos hardware en el ecualizador del dominio de la frecuencia (FDEQ). Por lo tanto, en una implementación del CDC, en cada tono se compensa únicamente la parte parabólica del CD, esto es, en lugar de compensar  $\exp(jD(f-f_0)^2)$  donde  $f_0$  es la frecuencia central de ese tono, el DSP RX 800 compensa  $\exp(jDf^2)$  y deja  $\exp(-j2Df_0f) + \exp(jDf_0^2)$  para que se compense en los módulos de recuperación de fase y enmarcadores. Debido a la fase residual lineal de CD en  $\exp(-j2Df_0f)$ , se puede optimizar el inventariado con un método overlap-save (solapar guardar).

20 La implementación de métodos de estimación complejos (por ejemplo, el Estimador de Secuencia de Máxima Verosimilitud (MLSE)) puede ser opcional. En el caso de un filtrado estrecho de ancho de banda (por ejemplo, un número grande de WSS, ancho de banda de RF baja, etc.), únicamente se ven afectados los tonos laterales. Por lo tanto, los métodos de estimación complejos se pueden implementar opcionalmente únicamente en los tonos laterales, lo que da lugar a un diseño hardware más eficiente y menos complejo. En presencia de un canal vecino muy cercano (por ejemplo, un DWDM, un súper canal, etc.), únicamente los tonos laterales se ven afectados por interferencia entre canales (ICI). Por lo tanto, los ecualizadores ICI se pueden utilizar únicamente en los subcanales laterales, lo que da lugar a una reducción de la complejidad del ecualizador ICI. Por lo tanto disminuye la complejidad de implementación de los algoritmos DSP (por ejemplo, MLSE, ecualizador ICI).

25 Las FIG. 10A-10C ilustran ejemplos de vistas 1010, 1020 y 1030 de espectros de frecuencia. El eje x representa la frecuencia y el eje y representa la amplitud. El espectro 1010 que se muestra en la FIG. 10A es un espectro de una única portadora de una señal modulada en una única portadora recibida en un receptor de una única portadora. El espectro 1020 que se muestra en la FIG. 10B es un espectro DMT-8QAM de una señal recibida en un receptor DMT. El espectro 1030 que se muestra en la FIG. 10C es un espectro DMT multimodulación de una señal transmitida desde un transmisor (por ejemplo, el DSP TX 500 de la FIG. 5) y recibida en un receptor (por ejemplo, el DSP RX 800 de la FIG. 8).

30 Con respecto al espectro 1030 de la FIG. 10C, se aplica QPSK en los tonos laterales de los cuatro tonos y se aplica 16 QAM en los tonos centrales de los cuatro tonos. La asignación flexible de potencia se realiza para minimizar la relación señal óptica a ruido (OSNR) en pre-FEC, BER  $2,6e^{-2}$ . Se considera un escenario multiplexado por división de polarización (PDM) coherente. La conformación de pulsos es raíz de coseno alzado con un factor de roll-off (atenuación progresiva) de 0,1. El espacio entre tonos se establece con el valor de  $0,06 f_B$ . El caudal es  $R=2 f_B * E\{bit/sim\} * OHd\%$ . Por lo tanto, para una cabecera fija y unos bits/símbolo promedio  $R=Kf_B$ , donde K es constante. Por lo tanto, en lugar de una tasa de datos máxima, se representa una tasa de baudios máxima alcanzable frente a los anchos de banda de RF tal como se muestra en la FIG. 11. Se supone que como mucho es aceptable una desviación de 1 dB del límite de ruido blanco Gaussiano aditivo (AWGN) de 8QAM donde la SNR para 8QAM en la BER objetivo es 9,7153 dB. También se puede suponer que ADDA es de 8 bit, y también se optimizan los cuantizadores para cada caso particular. El ancho de banda de RF de Tx y el ancho de banda de RF de Rx se consideran iguales.

35 La FIG. 11 ilustra la tasa de baudios máxima alcanzable frente a las representaciones 1110 y 1120 de anchos de banda de RF. La representación 1110 se calcula utilizando un modelo transceptor 8QAM de una única portadora (SC) donde la información se transmite utilizando una única portadora con varios tonos. La representación 1120 se calcula utilizando un sistema DMT multimodulación con un transmisor (por ejemplo, el 110 de la FIG. 1, el 300 de la FIG. 3 o el 500 de la FIG. 5) y un receptor (el 130 de la FIG. 1, el 400 de la FIG. 4 o el 800 de la FIG. 8). Se muestra que la potencia asignada y la DMT de bits cargados aumenta la tasa de baudios máxima aproximadamente un 30-40%.

La FIG. 12 ilustra un ejemplo de una tabla de búsqueda (LUT) 1200. La LUT 1200 define la relación entre los formatos de modulación y el límite de asignación de potencia para la asignación flexible de potencia. En este ejemplo, la LUT 1200 es para un transceptor para una DMT de cuatro tonos con QPSK en los dos tonos laterales y 16QAM en los dos tonos centrales. Por ejemplo, la LUT 1200 se utiliza en el DSP TX 500 de la FIG. 5. La fila superior 1210 de la LUT 1200 es la proporción de anchos de banda de RF TX y RF RX respecto a la tasa de baudios. Se supone que los anchos de banda de RF TX y RF RX son iguales. La fila inferior 1220 de la LUT 1200 es la proporción de potencia asignada a los tonos centrales frente a los tonos laterales (en dB). Por ejemplo, si el ancho de banda de RF es  $0,3 \cdot f_{\text{Baud}}$ , el transceptor asigna una potencia 6 dB superior a los canales de 16QAM frente a los canales de QPSK. Para una asignación flexible de potencia se pueden aplicar diferentes LUT en los símbolos.

La FIG. 13 ilustra un método 1300 de comunicación óptica, el cual puede implementar un lado transmisor de la red óptica de comunicación (por ejemplo, el DSP TX 112 de la FIG. 1, el DSP TX 310 de la FIG. 3 o el DSP TX 500 de la FIG. 5). Los flujos de bits de entrada se convierten en N grupos de bits para N tonos con el fin de optimizar la tasa de bits de cada tono con un esquema (1310) flexible de carga de bits. Cada flujo de bits con una tasa de bits única para un tono se mapea a un símbolo con un formato (1320) de modulación. Se optimiza la potencia de uno o más de los símbolos con un esquema (1330) flexible de asignación de potencia el cual se puede implementar utilizando una LUT (por ejemplo, la 330 de la FIG. 3 o la 1200 de la FIG. 12). Las señales de N bits moduladas se pueden transformar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, por ejemplo, aplicando FFT para generar una pluralidad de señales de canal y, a continuación, se pueden filtrar para realizar una conformación (1340) de pulsos. Las señales de canal resultantes se multiplexan (1350), por ejemplo, aplicando una IFFT grande (por ejemplo, la 570 de la FIG. 5) para dar como resultado una señal eléctrica digital. La señal eléctrica digital se puede convertir a una señal analógica, por ejemplo utilizando un DAC (por ejemplo, el 340 de la FIG. 3) y, a continuación, se puede convertir a una señal óptica para su transmisión (1360).

La FIG. 14 ilustra un método 1400 de comunicación óptica, el cual se puede implementar utilizando un lado receptor de la red óptica de comunicación (por ejemplo, el DSP RX 132 de la FIG. 1, el DSP RX 410 de la FIG. 4 o el DSP RX 800 de la FIG. 8). El método 1400 puede incluir funciones implementadas por el lado transmisor de la red óptica de comunicación. Se recibe (1410) una señal óptica. La señal óptica se convierte a una señal eléctrica digital (1420), por ejemplo, utilizando una conversión O/E y una conversión AD. La señal eléctrica digital se puede transformar al dominio de la frecuencia, por ejemplo, aplicando una FFT (por ejemplo, la 810 de la FIG. 8) para generar una pluralidad de señales de canal. La señal eléctrica digital se puede procesar para compensar la distorsión y para recuperar la portadora en cada tono (1430). Las señales procesadas se decodifican con formatos de demodulación (1440) que se corresponden con los formatos de modulación utilizados en el lado transmisor. Las señales de bits demoduladas se serializan para restaurar el orden original (1450).

La FIG. 15 ilustra una unidad transceptora 1500, la cual puede ser cualquier dispositivo que transmita y/o reciba señales ópticas con datos codificados. Por ejemplo, la unidad transceptora 1500 puede estar localizada en un sistema de comunicación óptica, que puede implementar el transmisor 110 y el receptor 130 mostrado en la FIG. 1. La unidad transceptora 1500 puede ser un transceptor óptico coherente. La unidad transceptora 1500 puede estar configurada para implementar o soportar cualquiera de los esquemas descritos en la presente solicitud como, por ejemplo, el esquema DMT multimodulación, carga de bits flexible, asignación flexible de potencia y los métodos 1300 y 1400 de comunicación óptica de las FIG. 13 y 14. La unidad transceptora 1500 también puede actuar como otro(s) nodo(s) en una red óptica de transporte (OTN) como, por ejemplo, un terminal de línea óptica (OLT), una unidad de red óptica (ONU) y/u otros elementos de la red óptica. El término unidad transceptora incluye un amplio rango de dispositivos de los que la unidad transceptora 1500 es un ejemplo. La unidad transceptora 1500 se incluye únicamente con el propósito de claridad de la discusión, pero en ningún modo pretende limitar la solicitud de la presente divulgación a una unidad transceptora o clase de unidad transceptora concreta.

Por ejemplo, las características/métodos en la divulgación se pueden implementar utilizando hardware, firmware y/o software instalado para ejecutarse en un hardware. Tal como se muestra en la FIG. 15, la unidad transceptora 1500 puede incluir un frontal electro óptico (E/O) 1510 y/o un frontal óptico eléctrico (O/E) 1520, los cuales pueden convertir una señal eléctrica a una señal óptica para su transmisión en una OTN y/o recibir una señal óptica de la OTN y convertir la señal óptica a una señal eléctrica, respectivamente. Se puede acoplar un procesador 1530 al frontal E/O 1510 y al frontal O/E 1520 mediante una pluralidad de DAC 1540 y ADC 1550, respectivamente, los cuales pueden formar parte o no del procesador 1530. Los DAC 1540 pueden convertir señales eléctricas digitales generadas por el procesador 1530 en señales eléctricas analógicas que pueden ser alimentadas al frontal E/O 1510. Los ADC 1550 pueden convertir las señales eléctricas analógicas recibidas desde el frontal O/E 1520 en señales eléctricas digitales que pueden ser procesadas por el procesador 1530. Si la unidad transceptora se encuentra en un lado transmisor, el procesador 1530 puede incluir una unidad 1533 de carga flexible de bits para cargar bits a cada tono y un módulo 1534 de asignación flexible de potencia para la asignación de potencia a uno o más tonos. El procesador 1530 puede estar acoplado a uno o más procesadores multinúcleo y/o módulos 1532 de memoria que pueden realizar la función de almacenamiento de datos, memorias de almacenamiento intermedio, etc. El módulo 1532 de memoria puede incluir una tabla de búsqueda para la

5 asignación flexible de potencia. El procesador 1530 se puede implementar como un procesador genérico o puede formar parte de uno o más ASIC y/o DSP. La unidad 1533 de carga flexible de bits y el módulo 1534 de asignación flexible de potencia se pueden implementar como instrucciones almacenadas en el módulo 1532 de memoria que pueden ser ejecutadas por el procesador 1530. El módulo 1532 de memoria puede incluir una caché (memoria intermedia de acceso rápido) para almacenar contenido temporalmente, por ejemplo, una Memoria de Acceso Aleatorio (RAM). Adicionalmente, el módulo 1532 de memoria puede incluir un almacenamiento a largo plazo para almacenar contenido relativamente más duradero, por ejemplo, una Memoria de Solo Lectura (ROM). Por ejemplo, la caché y el almacenamiento de largo plazo pueden incluir memorias dinámicas de acceso aleatorio (DRAM), discos de estado sólido (SSD), discos duros, o combinaciones de los mismos. El procesador 1530 es un procesador programable, y las instrucciones ejecutables se pueden cargar en la unidad transceptora 1500 en al menos el procesador 1530 y/o el módulo 1532 de memoria. Cada una de las ramas de procesamiento en paralelo en el lado transmisor (por ejemplo, la 112 de la FIG. 1, la 310 de la FIG. 3 o la 500 de la FIG. 5) se puede configurar utilizando instrucciones ejecutables, las cuales pueden incluir una tasa de bits, un formato de modulación de cada rama, el número total de ramas y los esquemas de carga de bits y asignación de potencia de las ramas. Cada una de las ramas de procesamiento paralelo en el lado receptor (por ejemplo, el 132 de la FIG. 1, el 410 de la FIG. 4 y el 800 de la FIG. 8) se puede configurar utilizando las instrucciones ejecutables, las cuales pueden incluir un formato de modulación de demodulación de cada rama y el número total de ramas.

20 Cualquier procesamiento de la divulgación se puede implementar haciendo que un procesador, procesadores de señales digitales (DSP), un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) o componentes de un procesador en un sistema (por ejemplo, el 110 o el 130 de la FIG. 1) ejecuten un programa informático o proporcione funciones. En este caso, el producto de programa informático puede ser proporcionado a un ordenador o un dispositivo móvil que utiliza cualquier tipo de medios no transitorios legibles por un ordenador. El producto de programa informático puede estar almacenado en un medio no transitorio legible por un ordenador en el ordenador o el dispositivo de red. Los medios no transitorios legibles por un ordenador incluyen cualquier tipo de medios tangibles de almacenamiento. Los ejemplos de medios no transitorios legibles por un ordenador incluyen medios de almacenamiento magnético (por ejemplo, cintas magnéticas, discos duros, memoria flash, etc.), medios de almacenamiento magneto ópticos (por ejemplo, discos magneto ópticos), un disco compacto de memoria de solo lectura (CD-ROM), un disco compacto grabable (CD-R), un disco compacto regrabable (CD-R/W), un disco versátil digital (DVD), un disco Blu-ray (marca registrada) (BD), y memorias de semiconductor (por ejemplo, una máscara ROM, una ROM programable (PROM), una PROM borrable, una flash ROM y una RAM). El producto de programa informático también se le puede proporcionar a un ordenador o a un dispositivo de red utilizando cualquier tipo de medio transitorio legible por un ordenador. El término "configurado para (realizar una tarea)" tal como se utiliza en la presente solicitud incluye ser programable, programado, conectable, cableado o construido de otra forma para tener la capacidad de realizar la tarea cuando se dispone o instala tal como se ha descrito en la presente solicitud.

40 Aunque en la presente divulgación se han proporcionado varios modos de realización, se puede entender que los sistemas y métodos divulgados se podrían materializar en muchas otras formas específicas sin apartarse del alcance de la presente divulgación. Los presentes ejemplos se deben considerar como ilustrativos y no restrictivos, y la intención es no estar limitado a los detalles presentados en la presente solicitud. Por ejemplo, los distintos elementos o componentes se pueden combinar o integrar en otro sistema o se pueden omitir o no implementar ciertas características. Se puede realizar una serie de variaciones y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

5 1. Un dispositivo para una transmisión óptica multitono discreto, DMT, comprendiendo el dispositivo un demultiplexor configurado para convertir datos en serie a grupos de bits y para cargar en cada una de una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) un grupo de bits de datos asociados, en función de las tasas de bits de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4);

10 en donde cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) está configurada para codificar el grupo de bits de datos asociado sobre un tono asociado, realizar una asignación de potencia para el grupo de bits de datos codificado, aplicar una Transformada Rápida de Fourier (FFT) respectiva después de la asignación de potencia y realizar una conformación de pulsos independientemente en los tonos (610, 620, 630, 640) utilizando la Transformada Rápida de Fourier respectiva,

15 en donde una primera tasa de bits y una modulación para una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) es diferente de una segunda tasa de bits y una modulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4).

20 2. El dispositivo de la reivindicación 1, en donde cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) comprende un codificador configurado para generar un símbolo con una modulación asociada;

25 en donde el dispositivo está configurado para asignar potencia a la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) con el fin de resaltar uno o más de los símbolos, en donde la asignación de potencia a la primera rama es diferente de la asignación de potencia a la segunda rama.

3. El dispositivo de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde la primera rama está configurada para codificar un primer grupo de bits de datos de los grupos de bits sobre un primer tono con un formato de modulación de orden inferior, en donde la segunda rama está configurada para codificar un segundo grupo de bits de datos de los grupos de bits sobre un segundo tono con un formato de modulación de orden superior.

30 4. El dispositivo de la reivindicación 3, en donde cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) comprende un codificador configurado para generar un símbolo con una modulación asociada;

35 en donde el dispositivo está configurado para asignar una primera potencia a al menos la primera rama para resaltar el símbolo asociado de la primera rama.

40 5. El dispositivo de la reivindicación 3, en donde el dispositivo está configurado para asignar potencia a la primera rama en función de la diferencia de la relación señal a ruido, SNR, entre la modulación de orden inferior y la modulación de orden superior para compensar la diferencia de SNR o en función de la disposición de ancho de banda de las ramas (B1, B2, B3, B4).

45 6. El dispositivo de la reivindicación 2, en donde el dispositivo está configurado para realizar la asignación de potencia con el fin de mantener la tasa de error de bit, BER, en el valor más bajo.

50 7. El dispositivo de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el dispositivo está configurado para disponer de forma adaptativa la compensación para la distorsión de las señales en cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4).

8. Un método para una transmisión óptica multitono discreto, DMT, que comprende:

40 recibir un flujo de datos en serie; y

45 convertir los datos en serie a grupos de bits y cargar en cada una de las ramas de una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) un grupo de bits de datos asociados, en función de las tasas de bits de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4), configurada cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) para codificar el grupo de bits de datos asociado sobre el tono asociado, realizar la asignación de potencia para el grupo de bits de datos codificado, aplicar una Transformada Rápida de Fourier (FFT) respectiva después de la asignación de potencia y realizar una conformación de pulsos independientemente sobre los tonos (610, 620, 630, 640) utilizando la Transformada Rápida de Fourier respectiva, en donde una primera tasa de bits y una modulación para una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) es diferente de una segunda tasa de bits y una modulación para una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4).

9. El método de la reivindicación 8, que comprende, además:

utilizar cada una de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4), generar un símbolo con una modulación asociada, y

5 asignar una potencia a cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) con el fin de resaltar uno o más de los símbolos, siendo la asignación de potencia a la primera rama diferente de la asignación de potencia a la segunda rama.

10. El método de la reivindicación 9, en donde la asignación de la potencia comprende determinar un factor de potencia en cada rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) para mantener una tasa de error de bit, BER, en el valor más bajo.

11. El método de la reivindicación 9, en donde la asignación de la potencia comprende determinar un factor de potencia en cada rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) en función de la diferencia de la relación señal a ruido, SNR, requerida entre la diferencia de las modulaciones de las ramas (B1, B2, B3, B4) para compensar la diferencia de SNR o en función de los anchos de banda de las ramas (B1, B2, B3, B4).

12. El método de la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en donde la carga en cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) de un grupo de bits de datos asociados comprende cargar un primer grupo de bits de datos de los grupos de bits en una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4), y un segundo grupo de bits de datos de los grupos de bits en una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4), siendo el tamaño del primer grupo de bits de datos diferente del del segundo grupo de bits de datos;

en donde la primera rama está configurada para codificar el primer grupo de bits de datos de los grupos de bits sobre un primer tono con un formato de modulación de orden inferior, en donde la segunda rama está configurada para codificar el segundo grupo de bits de datos de los grupos de bits sobre un segundo tono con un formato de modulación de orden superior.

13. El método de la reivindicación 12, que comprende:

utilizar cada una de las ramas de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4), generar un símbolo con una modulación asociada, y

30 asignar diferentes potencias en la primera rama y la segunda rama para resaltar el símbolo de una entre la primera rama y la segunda rama.

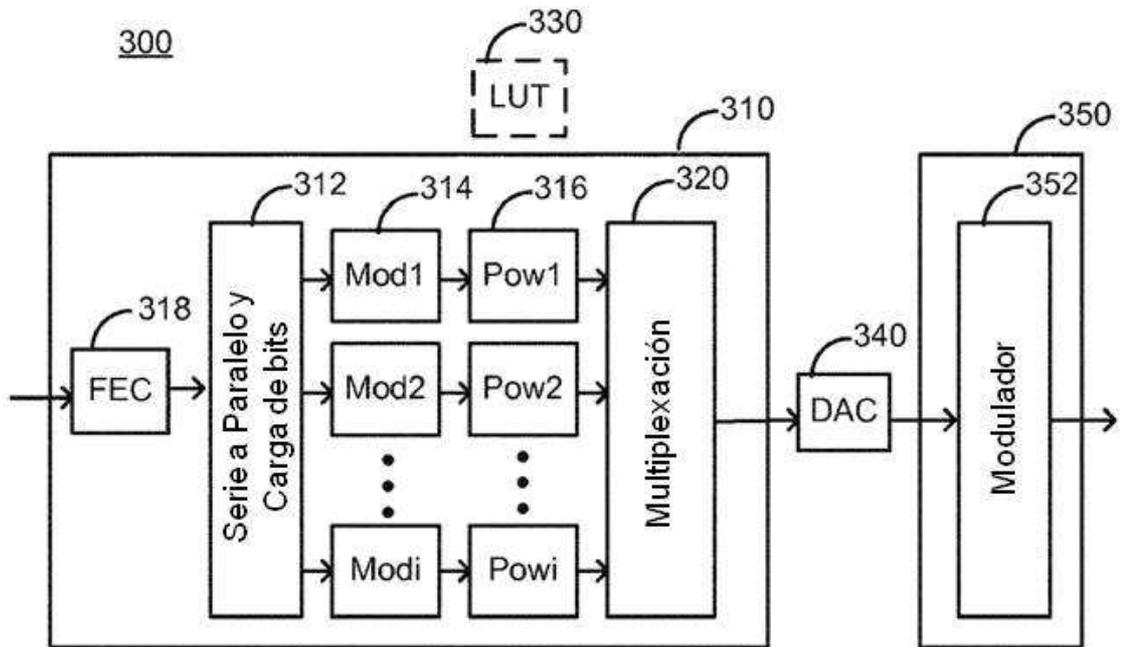
14. El método de la reivindicación 8 o la reivindicación 9, que comprende, además, disponer adaptativamente la compensación para la distorsión de las señales en cada rama.

15. Una memoria no transitoria legible por un ordenador que almacena uno o más programas, comprendiendo los uno o más programas instrucciones, las cuales, cuando son ejecutadas por un dispositivo informático, hacen que el procesador del dispositivo lleve a cabo un método para una transmisión óptica multitono discreto, DMT, que comprende:

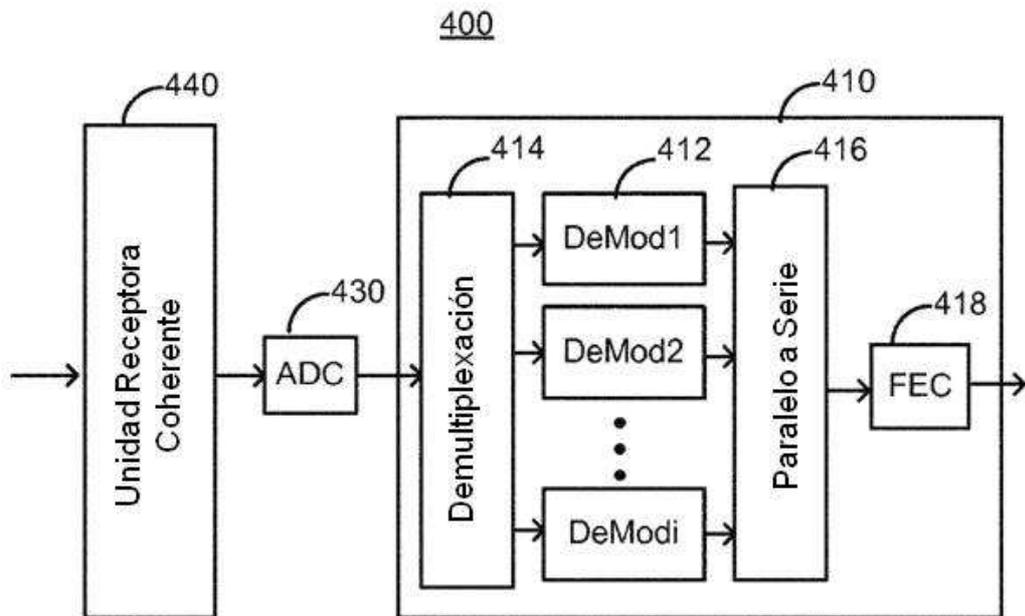
recibir datos en serie; y

convertir los datos en serie a grupos de bits y cargar en cada una de una pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) un grupo de bits de datos asociados, en función de las tasas de bits de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4), configurada cada rama para codificar el grupo de bits de datos asociado sobre un tono asociado, realizar una asignación de potencia para el grupo de bits de datos codificado, aplicar una Transformada Rápida de Fourier (FFT) respectiva después de la asignación de potencia y realizar una conformación de pulsos independientemente sobre los tonos (610, 620, 630, 640) utilizando la Transformada Rápida de Fourier respectiva, en donde una primera tasa de bits y una modulación de una primera rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4) es diferente de una segunda tasa de bits y una modulación de una segunda rama de la pluralidad de ramas de procesamiento paralelo (B1, B2, B3, B4).

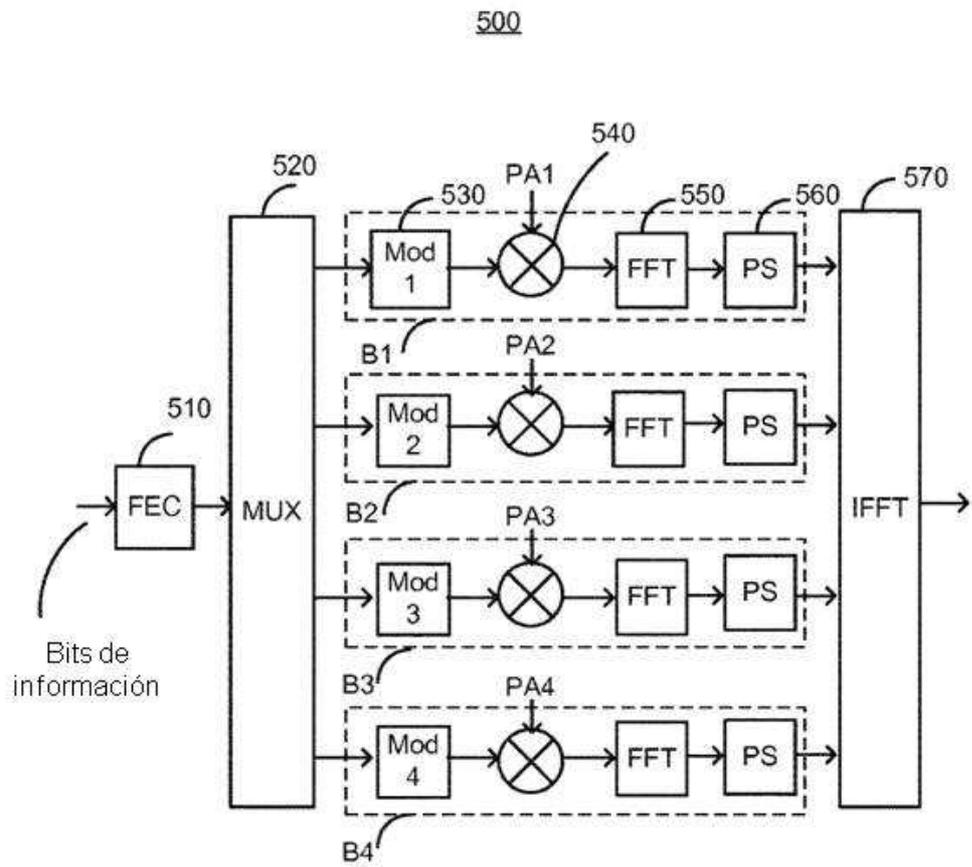




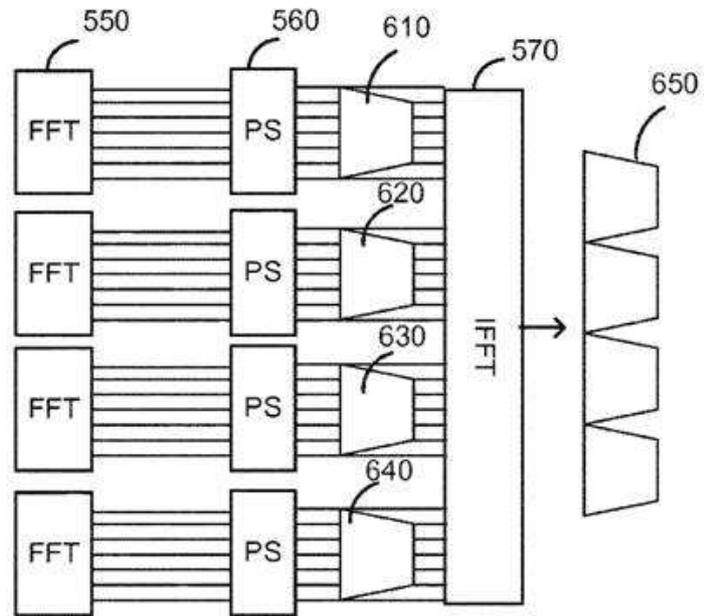
**Figura 3**



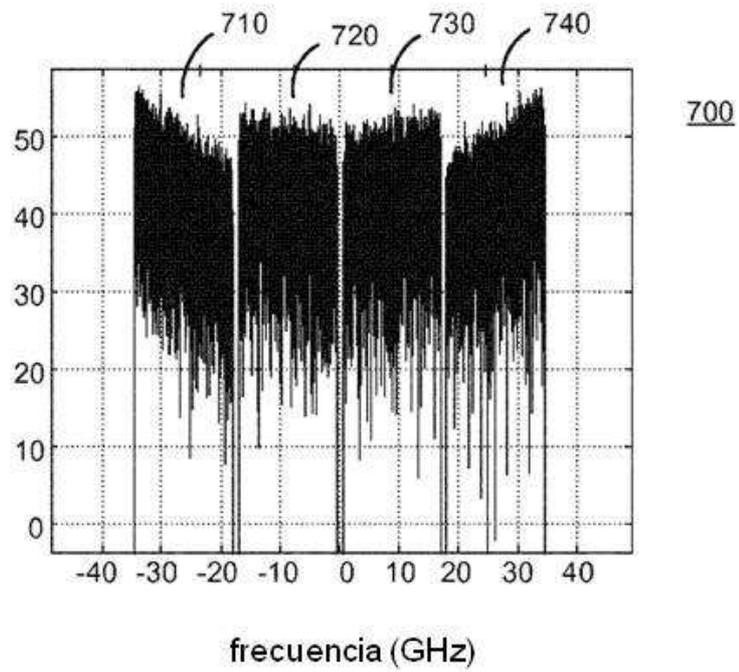
**Figura 4**



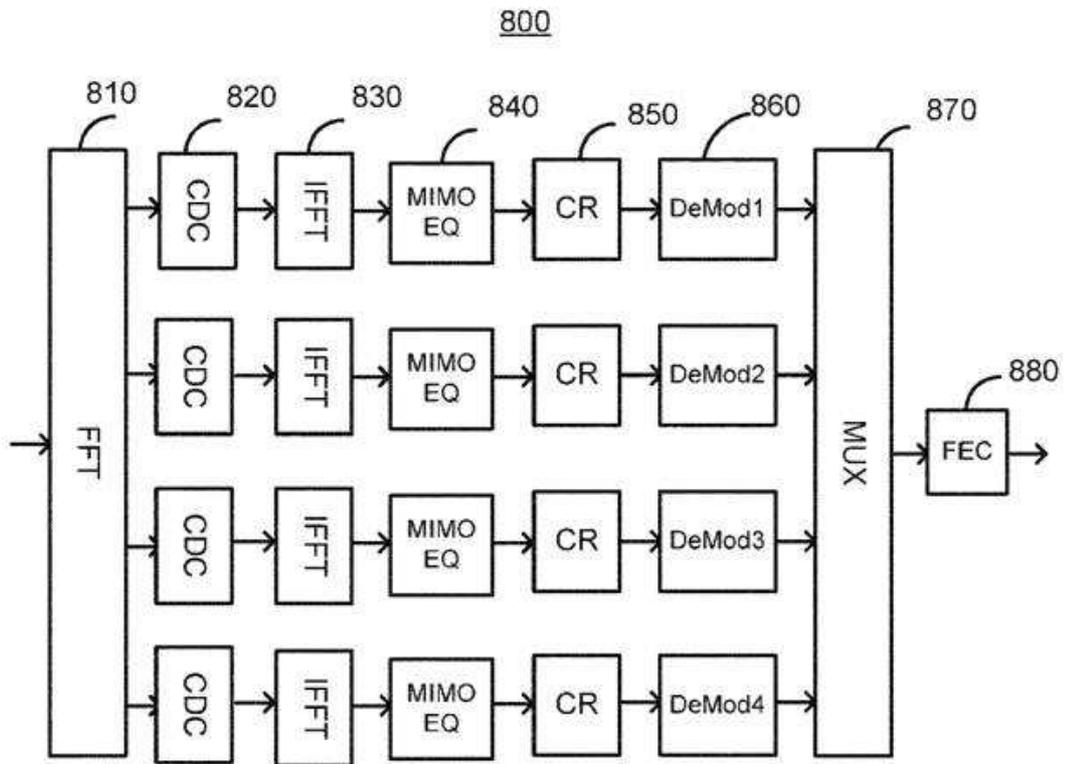
**Figura 5**



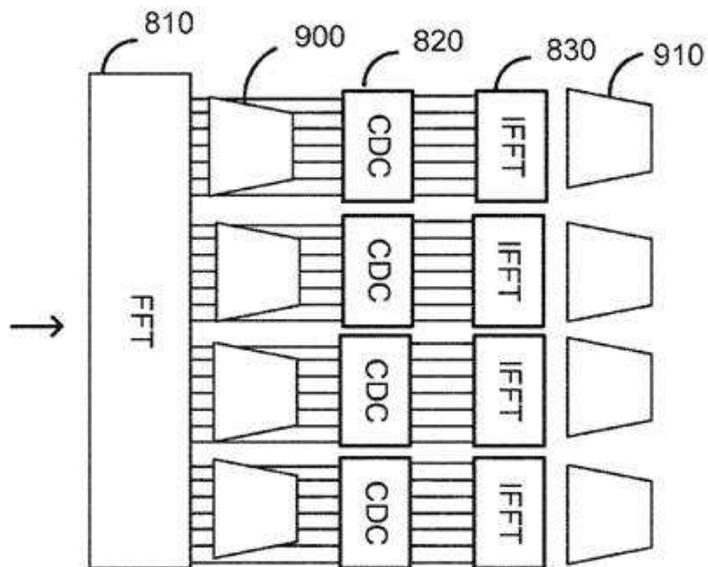
**Figura 6**



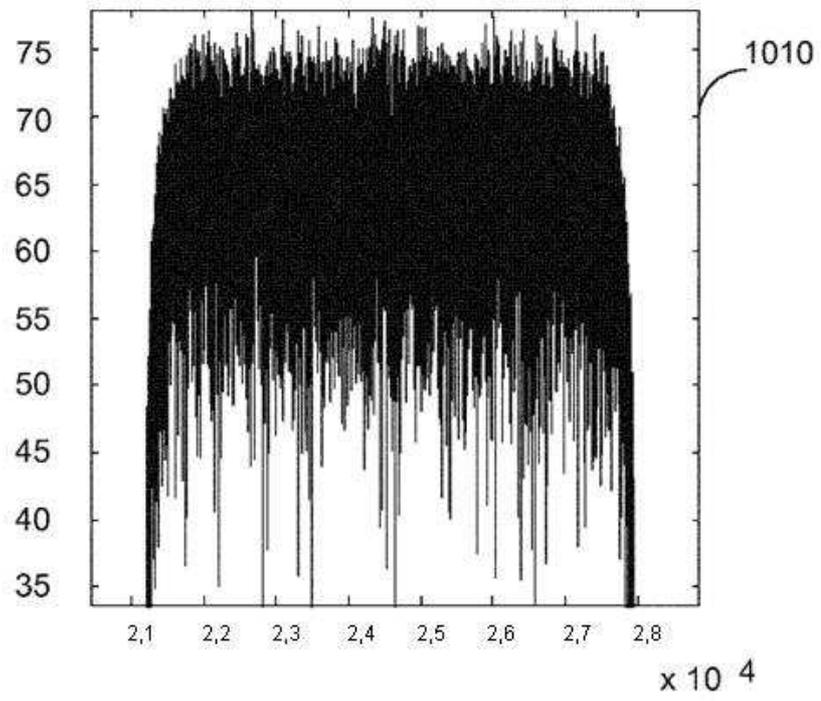
**Figura 7**



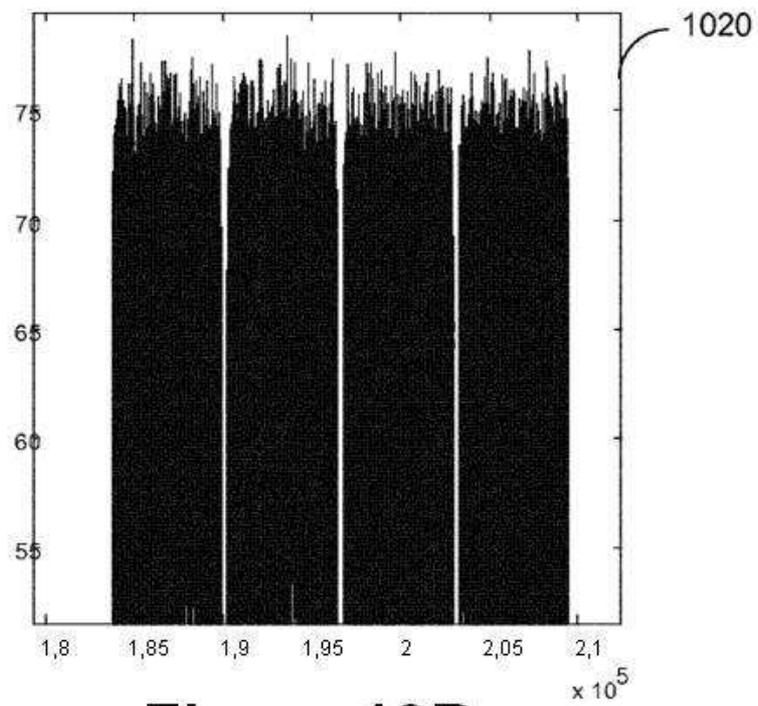
**Figura 8**



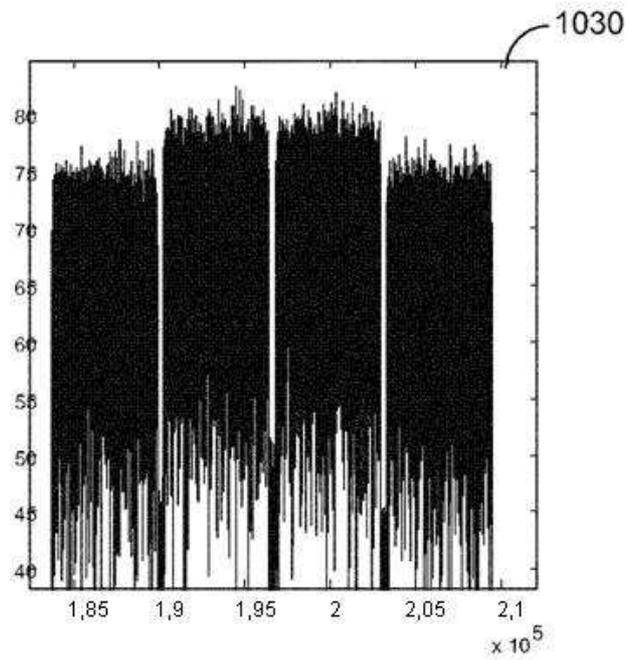
**Figura 9**



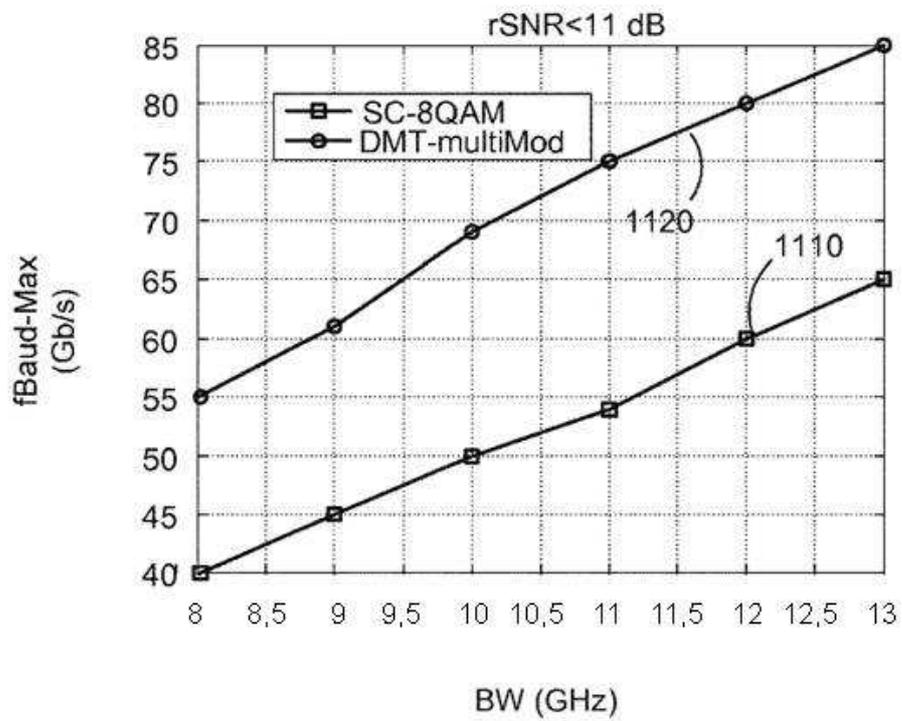
**Figura 10A**



**Figura 10B**



**Figura 10C**



**Figura 11**

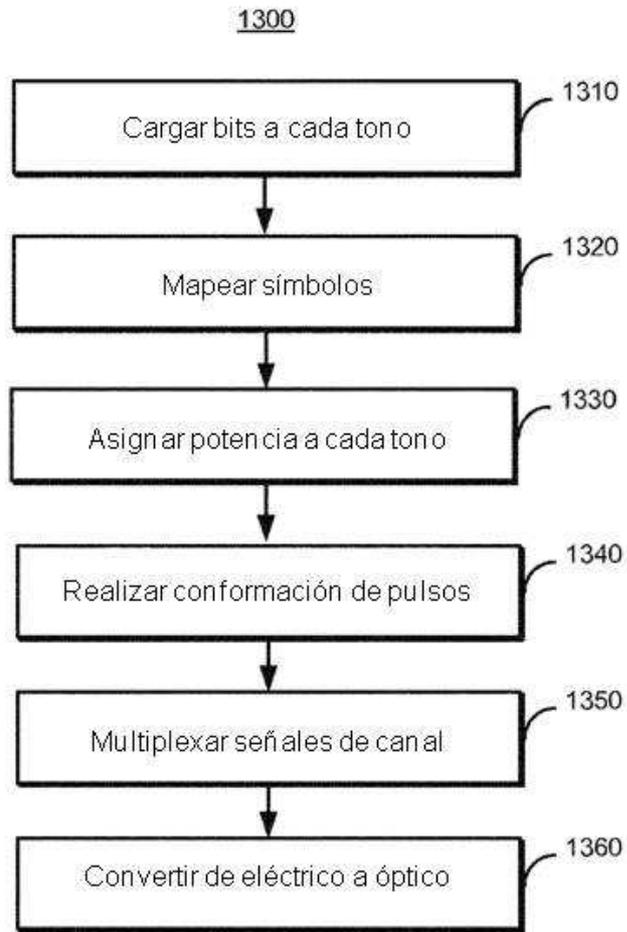
1200

1210

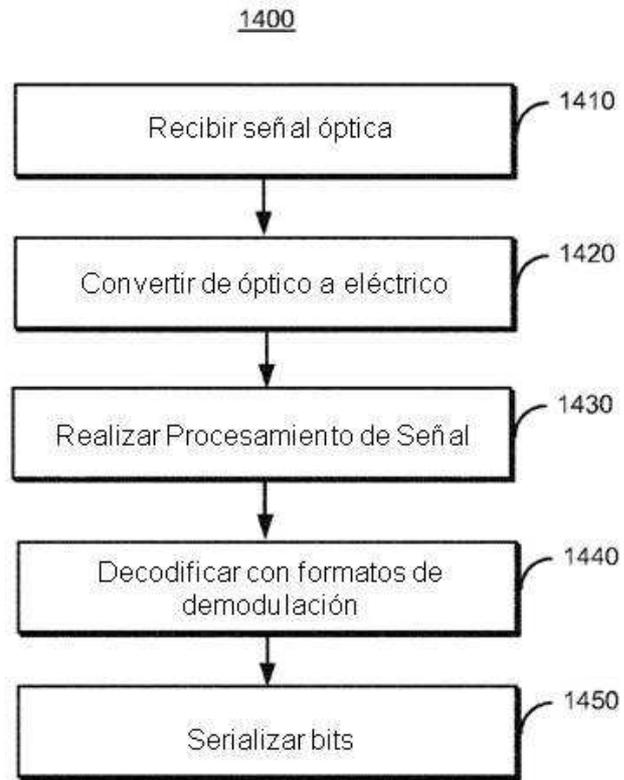
Piloto Ancho de banda/Baudios	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
Diferencia de Potencia en DB	10,88	6,85	5,80	5,57	5,71	5,80	5,93	5,93	5,93	5,98	6,00	6,00

1220

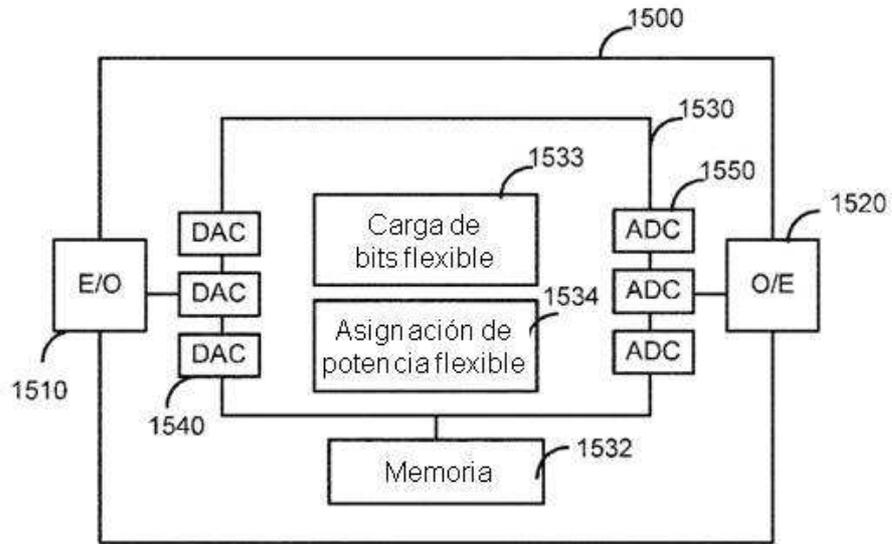
**Figura 12**



**Figura 13**



**Figura 14**



**Figura 15**