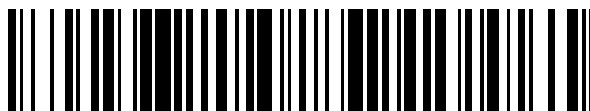


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 093**

51 Int. Cl.:

H04J 14/00 (2006.01)

H04B 10/25 (2013.01)

H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.02.2015 PCT/US2015/014509**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.08.2015 WO15120087**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2015 E 15746228 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.06.2018 EP 3100388**

54 Título: **Multiplexación por división de frecuencia ortogonal de detección directa con procesamiento de señal digital de pre-compensación de la dispersión**

30 Prioridad:

04.02.2014 US 201461935801 P

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

23.10.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LI, CHUANDONG;
CHEN, CHEN y
ZHANG, ZHUHONG**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 687 093 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

Multiplexación por división de frecuencia ortogonal de detección directa con procesamiento de señal digital de pre-compensación de la dispersión

5 Antecedentes

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) se utiliza ampliamente en sistemas de comunicación inalámbrica de radiofrecuencia contemporáneos debido a su eficacia de espectro y su notable capacidad en soporte de aplicaciones de multi-usuarios. Se están realizando esfuerzos para hacer llegar OFDM a sistemas de comunicación óptica para aplicaciones de largo recorrido. Sin embargo, esos esfuerzos no han tenido éxito puesto que OFDM no funciona tan bien como otras soluciones de portadora única en sistemas de transporte óptico.

15 Más concretamente, OFDM puede describirse como un sistema de modulación de banda lateral doble (DSB), que se puede distorsionar en gran medida por la dispersión cromática (CD) en distancias más largas. Cuando se transmiten símbolos a distancias más largas, la degradación causada por CD puede provocar interferencia entre símbolos (ISI); es decir, la dispersión cromática hace que los pulsos de luz que transportan la información digital se dispersen, lo que hace más difícil distinguir unos pulsos de otros. Para un sistema de portadora única, la degradación de la energía puede reducir, en gran medida, el ancho de banda de un cable de fibra óptica, especialmente para fibras ópticas de largo recorrido. El impacto del CD se puede mitigar mediante la detección óptica coherente con un costo y consumo de energía mucho más altos. En consecuencia, la detección óptica coherente solamente se pone en práctica en escenarios de aplicación de largo recorrido, en donde el costo y el consumo de energía no son de interés.

25 A modo de ejemplo, el documento WO 2010/137113A1 se refiere a un aparato transmisor de ecualización de dispersión de longitud de onda y un sistema de transmisión de pre-ecualización. Además, el documento de SCHMIDT B J C ET AL, titulado: "Demostraciones Experimentales de Compensación de Dispersión Electrónica para Transmisión de Largo recorrido utilizando OFDM Óptica de Detección Directa", se refiere a demostraciones experimentales de compensación de dispersión electrónica para transmisión de largo recorrido utilizando OFDM óptica de detección directa. Además, el documento WO 2012/133473A1 se refiere a sistemas de comunicación óptica de pre-compensación de dispersión de longitud de onda. Además, el documento XP 31391753 se refiere a algoritmos compactos de compensación de dispersión digital.

35 La OFDM de detección directa (DD-OFDM) está recibiendo atención para aplicaciones de más corto alcance, principalmente debido a su estructura relativamente simple y bajo costo. DD-OFDM proporciona una buena compensación entre capacidad y simplicidad del sistema óptico, y es un método prometedor para aplicaciones metropolitanas.

40 La degradación de energía inducido por CD también es un problema para DD-OFDM. Sin embargo, a diferencia de un sistema de portadora única, DD-OFDM puede asignar bits de información a los sub-canales dependiendo de las frecuencias a las que se observa la degradación de la energía. A modo de ejemplo, un formato de alta modulación se puede aplicar en frecuencias sin degradación, y se puede evitar el uso de frecuencias con degradación para transmitir bits de información. Esta técnica es un ejemplo de las técnicas conocidas como "Water-Filling". Sin embargo, el uso de la técnica 'Water-Filling', por sí misma, no es la solución para la degradación de energía en sistemas DD-OFDM puesto que reduce la capacidad de transmisión, en particular cuando aumenta el número de puntos de degradación que han de evitarse a través de fibras ópticas de largo recorrido.

Sumario de la invención

50 En formas de realización de conformidad con la invención, la dispersión cromática se compensa, previamente, en un transmisor óptico DD-OFDM mediante métodos de procesamiento de señales digitales.

En un primer aspecto de la idea inventiva, se da a conocer un transmisor de señal óptica de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de detección directa (DD-OFDM), que comprende:

- 55
- una primera cadena de transmisión, utilizable para realizar, de forma selectiva, el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión;
 - una segunda cadena de transmisión, utilizable para realizar, selectivamente, el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión;
 - un primer convertidor de digital a analógico, DAC;
 - un segundo DAC;
- 60
- 65

- un primer convertidor de eléctrico a óptico (E/O); y
- un segundo convertidor de E/O,

5 en donde si la pre-compensación de dispersión no se realiza en la primera cadena de transmisión, y en la segunda
 cadena de transmisión, entonces la primera cadena de transmisión proporciona, a la salida, primeras señales al
 primer DAC, y la segunda cadena de transmisión proporciona, a la salida, segundas señales al segundo DAC,
 comprendiendo las primeras señales digitales y las segundas señales digitales componentes en fase, pero no
 10 componentes en fase en cuadratura, enviando el primer DAC sus salidas al primer convertidor de E/O, y el segundo
 DAC envía sus salidas al segundo convertidor de E/O; y

en donde si la pre-compensación de dispersión se realiza en la primera cadena de transmisión, entonces la primera
 cadena de transmisión envía terceras señales al primer DAC, y cuartas señales al segundo DAC, comprendiendo las
 terceras señales componentes en fase, y comprendiendo las cuartas señales componentes en cuadratura, enviando
 15 los primero y segundo DACs sus salidas al primer convertidor de E/O.

En una primera forma de puesta en práctica del primer aspecto, la primera cadena de transmisión se utiliza para
 realizar operaciones para convertir un flujo de datos de entrada en señales a transmitirse, comprendiendo las
 operaciones la división del flujo de datos de entrada en símbolos, la modulación de los símbolos en sub-portadoras,
 20 y las transformadas de Fourier rápidas inversas de los símbolos.

En una segunda forma de puesta en práctica del primer aspecto, el procesamiento de señal digital de pre-
 compensación de dispersión se inicia antes de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas, y
 comprende la multiplicación de las sub-portadoras por un factor respectivo.
 25

En una tercera forma de puesta en práctica del primer aspecto, la primera cadena de transmisión se utiliza, además,
 para añadir prefijos a los símbolos.

En una cuarta forma puesta en práctica del primer aspecto, el procesamiento de señal digital de pre-compensación
 de dispersión se inicia después de las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende la aplicación de un
 filtro de respuesta de impulsos finitos (FIR) para las señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas
 30 inversas.

En una quinta forma de puesta en práctica del primer aspecto, el procesamiento de señal digital de pre-
 compensación de dispersión se inicia después de las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende
 transformadas de Fourier rápidas de señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas inversas, la
 aplicación de un filtro de dominio de frecuencia a señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas, y
 transformadas de Fourier rápidas inversas de señales que se generan mediante la aplicación del filtro de dominio de
 35 frecuencia.

En un segundo aspecto de la idea inventiva, se da a conocer un método para generar señales multiplexadas por
 división de frecuencia ortogonal de detección directa (DD-OFDM), comprendiendo el método:

- la realización, de forma selectiva, por una primera cadena de transmisión, del procesamiento de señal digital de
 45 pre-compensación de dispersión;
- la realización, de forma selectiva, por una segunda cadena de transmisión, del procesamiento de señal digital de
 pre-compensación de dispersión;

50 • en donde si la pre-compensación de dispersión no se realiza en la primera cadena de transmisión, y en la
 segunda cadena de transmisión, el envío, por la primera cadena de transmisión, de primeras señales a un
 primer DAC, y el envío, por la segunda cadena de transmisión, de segundas señales a un segundo DAC,
 comprendiendo las primeras señales digitales, y las segundas señales digitales, componentes en fase, pero no
 componentes en fase en cuadratura, y el envío, por el primer DAC, de sus salidas a un primer convertidor de
 55 E/O y el envío, por el segundo DAC, de sus salidas a un segundo convertidor de E/O; y

• en donde si se realiza la pre-compensación de dispersión en la primera cadena de transmisión, el envío, por la
 primera cadena de transmisión, de terceras señales al primer DAC, y el envío de cuartas señales al segundo
 DAC, comprendiendo las terceras señales componentes en fase, y las cuartas señales comprenden
 60 componentes en cuadratura, y el envío, por los primero y segundo DACs, de sus salidas al primer convertidor de
 E/O.

En una primera forma de puesta en práctica del segundo aspecto, el método comprende, además: la realización, por
 la primera y/o segunda cadena de transmisión, de operaciones para convertir un flujo de datos de entrada en
 65 señales a transmitirse, comprendiendo las operaciones la división del flujo de datos de entrada en símbolos, la

modulación de los símbolos en sub-portadoras, y las transformadas de Fourier rápidas inversas de los símbolos.

5 En una segunda forma de puesta en práctica del segundo aspecto, dicho procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se pone en práctica antes de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas y comprende la multiplicación de las sub-portadoras por un factor respectivo.

10 En una tercera forma puesta en práctica del segundo aspecto, dicho procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se inicia después de que se pongan en práctica las transformadas de Fourier rápidas inversas y comprende la aplicación de un filtro de respuesta de impulsos finitos (FIR) a señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas inversas.

15 En una cuarta forma de puesta en práctica del segundo aspecto, dicho procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se inicia después de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas y comprende:

la realización de transformadas de Fourier rápidas de señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas inversas;

20 la aplicación de un filtro de dominio de frecuencia a las señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas; y

la realización de transformadas de Fourier rápidas inversas a señales que resultan de la aplicación del filtro de dominio de frecuencia.

25 En una quinta forma de puesta en práctica del segundo aspecto, el método comprende, además:

la conversión, por la primera y/o la segunda cadena de transmisión, del flujo de datos de entrada desde información binaria en serie a información binaria en paralelo antes de dividir el flujo de datos de entrada en los símbolos;

30 la aplicación de la técnica denominada 'Water-Filling', por la primera y/o segunda cadena de transmisión, a las sub-portadoras antes de que se realice el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión; y

35 la adición, por la primera y/o segunda cadena de transmisión, de prefijos a los símbolos después de las transformadas de Fourier rápidas inversas de los símbolos.

40 Formas de realización de conformidad con la presente invención dan a conocer, de este modo, una arquitectura de transmisor óptico DD-OFDM flexible que compensa los efectos de la dispersión cromática y puede, además, utilizarse para compensar otros efectos que podrían estar presentes en la fibra óptica. Las simulaciones demuestran que los puntos de degradación se eliminan incluso en longitudes de fibra óptica de 80 kilómetros. En consecuencia, DD-OFDM se convierte en una alternativa práctica para sistemas de comunicación óptica. Tal como se indicó con anterioridad, DD-OFDM proporciona una serie de ventajas sobre otros métodos, incluyendo un menor costo y mayor simplicidad. Por lo tanto, las formas de realización de conformidad con la presente invención permiten que las ventajas de DD-OFDM se trasladen a sistemas de comunicación óptica.

45 Estos y otros objetos y ventajas de las diversas formas de realización de la presente descripción se reconocerán por expertos en la técnica después de leer la siguiente descripción detallada de las formas de realización que se ilustran en las diversas Figuras de los dibujos.

50 Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que se incorporan y forman parte de esta memoria descriptiva, y en los que los mismos números representan elementos similares, ilustran formas de realización de la presente idea inventiva y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

55 La Figura 1A ilustra elementos de una cadena de transmisión en un transmisor de señal óptica de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de detección directa (DD-OFDM), en una forma de realización de conformidad con la presente invención.

60 La Figura 1B ilustra un pre-compensador de dispersión en una forma de realización de conformidad con la presente invención.

La Figura 2A ilustra elementos de una cadena de transmisión en un transmisor de señal óptica DD-OFDM en formas de realización de conformidad con la presente invención.

65 La Figura 2B ilustra un pre-compensador de dispersión en una forma de realización de conformidad con la presente invención.

La Figura 2C ilustra un pre-compensador de dispersión en una forma de realización de conformidad con la presente invención.

5 Las Figuras 3A y 3B son ejemplos que ilustran el funcionamiento de un transmisor de señal óptica DD-OFDM en formas de realización de conformidad con la presente invención.

10 La Figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra ejemplos de operaciones incluidas en un método de generación de señales DD-OFDM, en un transmisor de señal óptica DD-OFDM, en formas de realización de conformidad con la presente invención.

La Figura 5 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un dispositivo extremo frontal para un transmisor de señal óptica DD-OFDM capaz de poner en práctica formas de realización de conformidad con la presente invención.

15 Descripción detallada

Se hace referencia, ahora, en detalle, a las diversas formas de realización de la presente invención, en donde sus ejemplos se ilustran en los dibujos adjuntos. Aunque se describen en conjunción con estas formas de realización, ha de entenderse que los dibujos adjuntos no están previstos para limitar el alcance de estas formas de realización.

20 Además, en la siguiente descripción detallada de la presente idea inventiva, se dan a conocer numerosos detalles específicos, con el fin de proporcionar una comprensión completa de la presente descripción. Sin embargo, ha de entenderse que la presente invención se puede poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, métodos, procedimientos, componentes y circuitos bien conocidos no se han descrito, en detalle, con el fin de no ocultar, de forma innecesaria, aspectos de la presente invención.

30 Algunas partes de las descripciones detalladas que siguen se presentan en términos de procedimientos, bloques lógicos, procesamientos y otras representaciones simbólicas de operaciones sobre bits de datos dentro de una memoria informática. Estas descripciones y representaciones son los medios utilizados por los expertos en la técnica de procesamiento de datos para transmitir, de manera más efectiva, el contenido de su trabajo a otros expertos en la materia. En la presente idea inventiva, un procedimiento, bloque lógico, proceso o similar, se concibe como una secuencia auto-coherente de etapas o instrucciones que conducen a un resultado deseado. Las etapas son aquellas que utilizan manipulaciones físicas de cantidades físicas. En general, aunque no necesariamente, estas cantidades toman la forma de señales eléctricas o magnéticas capaces de ser memorizadas, transmitidas, combinadas, comparadas y, de cualquier otro modo, manipuladas en un sistema informático. Ha resultado conveniente, a veces, principalmente por razones de uso común, referirse a estas señales como transacciones, bits, valores, elementos, símbolos, caracteres, muestras, píxeles o similares.

40 Conviene señalar, sin embargo, que todos estos y términos similares deben asociarse con las cantidades físicas adecuadas, y son simplemente etiquetas convenientes aplicadas a estas cantidades. A menos que se indique específicamente lo contrario como evidente a partir de la siguiente descripción, ha de apreciarse que a lo largo de la presente memoria descriptiva, las discusiones utilizan términos tales como "dividir", "modular", "transformar", "generar", "añadir", "aplicar", "realizar", o similar, que se refieren a acciones y procesos (p.ej., diagrama de flujo 400 de la Figura 4) de un sistema informático, o dispositivo o procesador informático electrónico similar (p.ej., el controlador 510 de la Figura 5). El sistema informático o dispositivo informático electrónico similar manipula y transforma datos representados como cantidades físicas (electrónicas) dentro de las memorias del sistema informático, registros u otros dispositivos de memorización de información, transmisión o dispositivos de visualización.

50 Formas de realización descritas en este documento se pueden discutir en el contexto general de instrucciones ejecutables por ordenador que están, en alguna forma, en un soporte de memorización legible por ordenador, tal como módulos de programa, ejecutados por uno o más ordenadores u otros dispositivos. A modo de ejemplo, y no de limitación, los soportes de memorización legibles por ordenador pueden incluir soportes de memorización informáticos no transitorios y medios de comunicación. En general, los módulos del programa incluyen rutinas, programas, objetos, componentes, estructuras de datos, etc., que realizan tareas particulares o ponen en práctica tipos de datos abstractos particulares. La funcionalidad de los módulos de programa se puede combinar o distribuir según se desee en diversas formas de realización.

60 El soporte de memorización informático incluye medios volátiles y no volátiles, extraíbles y no extraíbles, que se ponen en práctica en cualquier método o tecnología para la memorización de información, tal como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa u otros datos. Los soportes de memorización informáticos incluyen, entre otros, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solamente lectura (ROM), memoria ROM programable eléctricamente borrable (EEPROM), memoria instantánea u otra tecnología de memoria, memoria ROM de disco compacto (CD-ROM), discos versátiles digitales (DVDs) u otro almacenamiento óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, memorización en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro soporte que pueda utilizarse para memorizar la información deseada y a la que se pueda

acceder para recuperar esa información.

5 Los medios de comunicación pueden incorporar instrucciones ejecutables por ordenador, estructuras de datos y módulos de programa, e incluyen cualquier medio de entrega de información. A modo de ejemplo, y no de limitación, los medios de comunicación incluyen medios cableados, tales como una red cableada o conexión de cableado directo, y medios inalámbricos tales como medios acústicos, de radiofrecuencia (RF), infrarrojos y otros medios inalámbricos. Las combinaciones de cualquiera de los anteriores se pueden incluir, además, dentro del alcance de los soportes legibles por ordenador.

10 La Figura 1A es un diagrama de bloques que ilustra elementos de una cadena de transmisión 101 en un transmisor de señal óptica 100 de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de detección directa (DD-OFDM) (en lo sucesivo, el transmisor 100) en una forma de realización según la presente invención. Los elementos se pueden poner en práctica en hardware, firmware o software o una combinación de los mismos. Pueden incluirse elementos diferentes a los ilustrados o descritos en el transmisor 100, y/o la cadena de transmisión 101. Dichos elementos
15 pueden incluir un receptor y una cadena de recepción. Es decir, el transmisor 100 se puede poner en práctica como parte de un transceptor.

20 La cadena de transmisión 101 realiza operaciones para convertir un flujo de datos digitales de entrada en señales analógicas que se pueden transmitir a través de una fibra óptica. El convertidor de serie a paralelo (S/P) 102 convierte información binaria en serie en los datos de entrada para información binaria en paralelo. El mapeador de símbolos 104 divide los bits en símbolos de datos y modula los símbolos en respectivas sub-portadoras ortogonales.

25 El dispositivo de aplicación de la técnica 'Water-Filler' 106 amplifica la potencia de la señal y/o aumenta el número de bits para una o más de las sub-portadoras, si es necesario, sobre la base de la relación de señal a ruido (SNR), óptica prevista u observada, para cada sub-canal.

30 En la forma de realización de la Figura 1A, el pre-compensador de dispersión 108 está antes del bloque de transformada rápida inversa de Fourier (IFFT) 110. El pre-compensador de dispersión 108 realiza el procesamiento de señal digital (referido aquí como "procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión") para compensar efectos tales como, pero sin limitarse a, la dispersión cromática.

35 Haciendo referencia a la Figura 1B, en una forma de realización, el pre-compensador de dispersión 108 incluye un número de multiplicadores paralelos. Cada multiplicador multiplica una respectiva sub-portadora S_0, S_1, \dots, S_N por un respectivo factor dependiente de la dispersión (p.ej., término de fase). Los factores aplican una rotación de fase a cada sub-portadora que cancela la dispersión en la fibra óptica. Los factores se pueden basar en las frecuencias observadas, o pronosticadas, en las que se puede producir la degradación de la energía. La magnitud de un factor puede estar basada en el grado de degradación de energía observado, o pronosticado, para la frecuencia correspondiente. A modo de ejemplo, un receptor puede observar las condiciones del canal y enviarlas al transmisor 100, que luego puede determinar los factores y/o ajustarlos.

40 Tal como se indicó, el pre-compensador de dispersión 108 se puede poner en práctica en hardware, firmware o software. En una forma de realización, el pre-compensador de dispersión 108 se pone en práctica como un circuito integrado específico de la aplicación (ASIC).

45 Con referencia de nuevo a la Figura 1A, el bloque de IFFT 110 convierte los símbolos de dominio de frecuencia procedentes del pre-compensador de dispersión 108 en símbolos de dominio de tiempo. El convertidor de paralelo a serie (P/S) 112 convierte la información en paralelo de nuevo a información en serie; las sub-portadoras se combinan en una sola señal.

50 Se añade un prefijo (p.ej., un prefijo cíclico, un preámbulo o intervalo de guarda) a los símbolos en el bloque de prefijo (CP) 114.

55 En formas de realización de conformidad con la presente invención, se realiza, de forma selectiva, el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión. Cuando se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión, los símbolos de dominio de tiempo son valores complejos que incluyen un componente en fase (o real) (I), y un componente en fase en cuadratura (o imaginario) (Q) que representan, respectivamente, la amplitud y fase de la señal sinusoidal para su respectiva sub-portadora. El componente I se envía al primer convertidor digital a analógico (DAC) 116, y se convierte al dominio analógico, y el componente Q se envía al segundo DAC 118, y se convierte al dominio analógico. El convertidor eléctrico a óptico (E/O) 120 convierte, entonces, las señales analógicas en señales ópticas para cada una de las sub-portadoras y transmite las señales ópticas mediante la modulación de un láser. En una forma de realización, el convertidor de E/O 120 es un modulador I/Q.
60

65 Pueden existir veces en las que no sea necesario el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión, en cuyo caso se puede omitir el bloque de pre-compensador de dispersión 108. Cuando la cadena de transmisión 101 no realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión, los símbolos de

dominio de tiempo incluyen solamente un componente real (I), que se puede enviar al primer DAC 116, y convertirse en el dominio analógico; las señales analógicas se envían, luego, al convertidor de E/O 120, y a continuación, se transmiten. Cuando el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión no se realiza en la cadena de transmisión 101, la capacidad de transmisión del transmisor 100 se puede aumentar utilizando una segunda
 5 cadena de transmisión y un segundo convertidor de E/O con el segundo DAC 118. Se da a conocer información adicional en conjunción con las Figuras 3A y 3B, discutidas a continuación.

La Figura 2A es un diagrama de bloques que ilustra elementos de una cadena de transmisión 201 en un transmisor de señal óptica DD-OFDM 200 (en lo sucesivo, el transmisor 200) en una forma de realización de conformidad con la
 10 presente invención. Los elementos se pueden poner en práctica en hardware, firmware o software, o una combinación de los mismos. Se pueden incluir elementos distintos a los ilustrados o descritos en el transmisor 200 y/o la cadena de transmisión 201. Dichos elementos pueden incluir un receptor y una cadena de recepción. Es decir, el transmisor 200 se puede poner en práctica como parte de un transceptor.

La cadena de transmisión 201 incluye elementos similares a los de la cadena de transmisión 101 de la Figura 1A, y dichos elementos no se describen de nuevo. En la cadena de transmisión 201, al contrario que en la cadena de
 15 transmisión 101, el pre-compensador de dispersión 208 está después del bloque de IFFT 110.

Haciendo referencia a la Figura 2B, en una forma de realización, el pre-compensador de dispersión 208 incluye un filtro de dominio de frecuencia 230. Puesto que el pre-compensador de dispersión 208 está después del bloque de
 20 IFFT 110, las señales entrantes están en el dominio de tiempo. Por lo tanto, las señales se transforman en el dominio de frecuencia en el bloque FFT 231. El filtro 230 incluye varios de multiplicadores que aplican diferentes términos de frecuencia (factores) a las señales de dominio de frecuencia. Después de que los multiplicadores aplican los términos de frecuencia, las señales se transforman, de nuevo, al dominio de tiempo en el bloque de IFFT
 25 232.

Con referencia a la Figura 2C, en otra forma de realización, el pre-compensador de dispersión 208 incluye un filtro de respuesta de impulsos finitos (FIR) 240 (p.ej., un filtro FIR complejo). El filtro 240 incluye un primer conjunto de factores multiplicadores para una derivación del filtro y un segundo conjunto de factores multiplicadores para la otra
 30 derivación del filtro.

El filtro 230 y el filtro 240 funcionan, de un modo conocido, para ajustar las señales de una manera que cancelará la interferencia entre símbolos (ISI) causada por dispersión cromática y otros efectos que podrían estar presentes en la fibra óptica. La longitud del filtro 230, o filtro 240, puede depender, a modo de ejemplo, de consideraciones tales
 35 como el rendimiento y el consumo de energía.

En la forma de realización de la Figura 2A, el pre-compensador de dispersión 208 funciona en una forma de primero en entrar, primero en salir (FIFO) y puede compensar, total o completamente para ISI. En consecuencia, la longitud del prefijo añadido en el bloque de CP 114, se puede reducir, o no se puede añadir ningún prefijo, con lo que se
 40 aumenta la eficacia del espectro. Por lo tanto, en la forma de realización de la Figura 2A, el bloque de CP 114 es opcional, o puede omitirse. Además, de modo similar a la forma de realización de la Figura 1A, pueden existir momentos en los que no sea necesario el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión, en cuyo caso se puede saltar el bloque de compensador de dispersión 208.

Para resumir, las formas de realización de conformidad con la invención distorsionan, previamente, señales en un transmisor de señal óptica DD-OFDM para compensar la dispersión en la fibra óptica, de modo que un receptor recibe señales de alta calidad (sin dispersión). Aunque se describe como una solución para dispersión en fibras ópticas, las formas de realización de conformidad con la invención se pueden utilizar para otros fines. A modo de
 45 ejemplo, las formas de realización de conformidad con la invención se pueden utilizar para generar señales OFDM de banda lateral única (SSB) sin un filtro óptico, con el fin de mejorar la tasa de extinción con respecto a la conseguida por un filtro óptico.

Las Figuras 3A y 3B son ejemplos que ilustran el funcionamiento flexible de un transmisor de señal óptica DD-OFDM 300 (en lo sucesivo, el transmisor 300) en formas de realización de conformidad con la presente invención. El
 55 transmisor 100 (Figura 1A) y el transmisor 200 (Figura 2A) son ejemplos del transmisor 300. En la realización, a modo de ejemplo, de las Figuras 3A y 3B, el transmisor incluye una primera cadena de transmisión 301 y una segunda cadena de transmisión 302. La cadena de transmisión 101 (Figura 1A), que incluye el pre-compensador de dispersión 108 (Figura 1B), y la cadena de transmisión 201 (Figura 2A), que incluye el pre-compensador de dispersión 208 (Figura 2B o 2C), son ejemplos de las cadenas de transmisión 301 y 302. El transmisor 300 incluye, además, el convertidor de E/O 120 y un segundo convertidor de E/O 320. El transmisor 300 puede incluir más de
 60 dos cadenas de transmisión y más de dos convertidores de E/O.

En una forma de realización, el transmisor 300 incluye un dispositivo o módulo de extremo frontal 510 (véase Figura 5). El dispositivo extremo frontal 510 puede codificar el flujo de datos de entrada con codificación convolucional e
 65 intercalación. El dispositivo extremo frontal 510 se puede utilizar para determinar los factores que se aplican por el pre-compensador de dispersión 108 (Figura 1B) y el pre-compensador de dispersión 208 (Figuras 2B y 2C). El

dispositivo extremo frontal 510 puede determinar, además, si el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión debe realizarse en las cadenas de transmisión. Tal como se indicó anteriormente, un receptor puede observar las condiciones del canal y enviarlas al transmisor 300. El dispositivo extremo frontal 510 puede utilizar esa información, a modo de ejemplo, para determinar si se va a realizar, o no, el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión; a continuación, elige si omitir el pre-compensador de dispersión 108 y el pre-compensador de dispersión 208.

La Figura 3A ilustra un ejemplo en el que se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión. Cuando se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión, el componente I se envía al primer DAC 116 y se convierte al dominio analógico, y el componente Q se envía al segundo DAC 118 y se convierte al dominio analógico. Los primero y segundo DACs 116 y 118 envían, ambos, sus salidas al convertidor de E/O 120.

La Figura 3B ilustra un ejemplo en el que el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión no se realiza por ninguna de las primera y segunda cadenas de transmisión 301 y 302 (p.ej., el pre-compensador de dispersión 108 de la Figura 1B, y el pre-compensador de dispersión 208 de la Figura 2B o 2C se omite). Cuando no se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión, no existe un componente Q. Por lo tanto, el componente I, procedente de la primera cadena de transmisión 301, se puede enviar al primer DAC 116 y convertirse en el dominio analógico, y el componente I, procedente de la segunda cadena de transmisión 302 se puede enviar al segundo DAC 118 y convertirse al dominio analógico. El primer DAC 116 envía sus salidas al convertidor de E/O 120, y el segundo DAC 118 envía sus salidas al segundo convertidor de E/O 320. Las cadenas transmisoras 301 y 302, los DACs 116 y 118, y los convertidores de E/O 120 y 320 pueden funcionar, independientemente, uno del otro y en paralelo.

En consecuencia, tal como se ilustra por los ejemplos de las Figuras 3A y 3B, cuando no se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión, se puede aumentar la capacidad del transmisor óptico DD-OFDM (p.ej., se duplica cuando hay dos cadenas de transmisión).

Formas de realización de conformidad con la presente invención proporcionan, de este modo, una arquitectura de transmisor óptico DD-OFDM flexible que compensa los efectos de la dispersión cromática y se puede utilizar, además, para compensar otros efectos que podrían estar presentes en una fibra óptica. Las simulaciones demuestran que los puntos de degradación se eliminan incluso en longitudes de fibra óptica de 80 kilómetros; la relación SNR y las relaciones de error binario (BER) permanecen estables en el espectro completo de la sub-portadora. Las sub-portadoras consideradas inutilizables en los sistemas convencionales se pueden utilizar para transmitir información utilizando un transmisor de señal óptica DD-OFDM de conformidad con la presente invención, con lo que se aumenta la capacidad de los sistemas de comunicación óptica.

La Figura 4 es un diagrama de flujo 400 que ilustra ejemplos de operaciones que se pueden realizar como parte de un método para generar señales DD-OFDM en un transmisor de señal óptica DD-OFDM, en formas de realización de conformidad con la presente invención. Algunas de las operaciones incluidas en el diagrama de flujo 400 se pueden realizar por el módulo extremo frontal 510 de las Figuras 3A y 3B, y otras operaciones pueden realizarse por los elementos incluidos en las cadenas de transmisión 101 y 201 de las Figuras 1A y 2A. Las operaciones en el diagrama de flujo 400 se pueden realizar en un orden diferente. Tal como se indicó anteriormente, el procesamiento de señal digital de pre-compensación puede realizarse antes o después del bloque de IFFT 110, dependiendo de la forma de realización. En la Figura 4, la ruta a través del diagrama de flujo 400, en la que se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación antes del bloque de IFFT 110, se designa utilizando un número 1 en un círculo, y la ruta a través del diagrama de flujo en la que se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación después del bloque IFFT 110, se designa utilizando un número 2 en un círculo.

En el bloque 402 de la Figura 4, un flujo de datos de entrada se convierte de información binaria en serie a información binaria en paralelo.

En el bloque 404, el flujo de datos de entrada se divide en símbolos.

En el bloque 406, los símbolos se modulan en sub-portadoras.

En el bloque 408, las sub-portadoras son objeto de aplicación de la técnica 'Water Filling'.

En el bloque 410, se realizan transformadas de Fourier rápidas inversas de los símbolos.

En el bloque 412, se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión. El procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se discutió con anterioridad. En una forma de realización, dicho procesamiento (p.ej., el ejemplo de la Figura 1B) se inicia antes de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas del bloque 408. En otra forma de realización, dicho procesamiento (p.ej., los ejemplos de las Figuras 2B y 2C) se realiza después de que se realizan las transformadas de Fourier rápidas inversas del bloque 408.

En el bloque 414, la información en paralelo se convierte en información en serie.

5 En el bloque 416, en una forma de realización, se añaden prefijos a los símbolos. En casos en los que se realiza el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión después de las transformadas de Fourier rápidas inversas del bloque 408, no se pueden añadir prefijos.

En el bloque 418, los símbolos se emiten desde la cadena de transmisión.

10 Los parámetros del proceso y la secuencia de etapas descritas y/o ilustradas aquí se dan a modo de ejemplo solamente y se pueden variar según se desee. Por ejemplo, aunque las etapas ilustradas y/o descritas en este documento se pueden mostrar o discutir en un orden particular, estas etapas no deben realizarse, necesariamente, en el orden ilustrado o discutido. Los diversos métodos, a modo de ejemplo, aquí descritos y/o ilustrados pueden, además, omitir una o más de las etapas descritas o ilustradas en este documento, o incluir etapas adicionales a las descritas.

15 La Figura 5 es un diagrama de bloques de un ejemplo de un dispositivo o módulo extremo frontal 510, capaz de poner en práctica formas de realización de conformidad con la presente invención. En su configuración más básica, el dispositivo 510 incluye al menos un circuito de procesamiento (p.ej., el procesador 514) y al menos un soporte de memorización no volátil (p.ej., la memoria 516).

20 El procesador 514 suele representar cualquier tipo o forma de unidad de procesamiento o circuito capaz de procesar datos, o interpretar y ejecutar instrucciones, para realizar las funciones de una o más de las formas de realización, a modo de ejemplo, descritas y/o ilustradas en este documento.

25 La memoria del sistema 516 generalmente representa cualquier tipo o forma de dispositivo de memorización volátil o no volátil, o soporte capaz de memorizar datos y/u otras instrucciones legibles por ordenador.

30 El dispositivo 510 puede incluir uno o más componentes o elementos además del procesador 514 y la memoria del sistema 516. A modo de ejemplo, el dispositivo 510 puede ponerse en práctica por intermedio de un dispositivo que incluye un controlador de memoria, un controlador de entrada/salida (I/O), y una interfaz de comunicación 515.

35 La interfaz de comunicación representa ampliamente cualquier tipo o forma de dispositivo de comunicación, o adaptador, capaz de facilitar la comunicación entre el dispositivo 510 y uno o más otros dispositivos o componentes en, a modo de ejemplo, un transmisor o transceptor de señal óptica DD-OFDM.

40 Aunque la descripción anterior establece varias formas de realización que utilizan diagramas de bloques, diagramas de flujo y ejemplos específicos, cada componente de diagrama de bloques, etapa de diagrama de flujo, operación, y/o componente, descrito y/o ilustrado en este documento se puede poner en práctica de forma individual y/o colectiva, utilizando una amplia gama de configuraciones de hardware, software o firmware (o cualquiera de sus combinaciones). Además, cualquier descripción de componentes contenidos en otros componentes se debe considerar como ejemplos puesto que se pueden poner en práctica muchas otras arquitecturas para conseguir la misma funcionalidad.

45 La descripción anterior, con fines de explicación, se ha descrito con referencia a formas de realización específicas. Sin embargo, las discusiones ilustrativas anteriores no están previstas para ser exhaustivas o para limitar la invención a las formas precisas dadas a conocer. Son posibles muchas modificaciones y variaciones en vista de las enseñanzas anteriores. Las formas de realización se eligieron y describieron con el fin de explicar mejor los principios de la invención y sus aplicaciones prácticas, con el fin de permitir que otros expertos en la técnica utilicen mejor la invención y sus formas de realización con diversas modificaciones, según sea adecuado para el uso particular contemplado.

50 Se describen, por lo tanto, formas de realización de conformidad con la invención. Si bien la presente descripción ha sido descrita en formas de realización particulares, ha de entenderse que la invención no debe interpretarse como limitada por dichas formas de realización, sino que se interpreta de conformidad con las reivindicaciones siguientes.

60

REIVINDICACIONES

1. Un transmisor de señal óptica de multiplexación por división de frecuencia ortogonal de detección directa (DD-OFDM), que comprende:

- una primera cadena de transmisión (301), utilizable para realizar, de forma selectiva, el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión;
- una segunda cadena de transmisión (302), utilizable para realizar, selectivamente, el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión;
- un primer convertidor de digital a analógico, DAC (116);
- un segundo DAC (118);
- un primer convertidor de eléctrico a óptico (E/O) (120); y
- un segundo convertidor de E/O (320),

en donde si la pre-compensación de dispersión no se realiza en la primera cadena de transmisión (301), y en la segunda cadena de transmisión (302), entonces la primera cadena de transmisión (301) proporciona, a la salida, primeras señales al primer DAC (116), y la segunda cadena de transmisión (302) proporciona, a la salida, segundas señales al segundo DAC (118), comprendiendo las primeras señales digitales y las segundas señales digitales componentes en fase, pero no componentes en fase en cuadratura, enviando el primer DAC (116) sus salidas al primer convertidor de E/O (120), y el segundo DAC (118) enviando sus salidas al segundo convertidor de E/O (320); y

en donde si la pre-compensación de dispersión se realiza en la primera cadena de transmisión (301) entonces, la primera cadena de transmisión (301) proporciona, a la salida, terceras señales al primer DAC (116), y cuartas señales al segundo DAC (118), comprendiendo las terceras señales componentes en fase, y comprendiendo las cuartas señales componentes en cuadratura, enviando los primero y segundo DACs (116, 118) sus salidas al primer convertidor de E/O.

2. El transmisor de señal óptica DD-OFDM según la reivindicación 1, en donde la primera cadena de transmisión se utiliza para realizar operaciones para convertir un flujo de datos de entrada en señales a transmitirse, comprendiendo las operaciones la división del flujo de datos de entrada en símbolos, la modulación de los símbolos en sub-portadoras, y transformadas de Fourier rápidas inversas de los símbolos.

3. El transmisor de señal óptica DD-OFDM según la reivindicación 2, en donde el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se inicia antes de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende la multiplicación de las sub-portadoras por un factor respectivo.

4. El transmisor de señal óptica DD-OFDM según la reivindicación 3, en donde la primera cadena de transmisión se utiliza, además, para añadir prefijos a los símbolos.

5. El transmisor de señal óptica DD-OFDM según la reivindicación 2, en donde el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se inicia después de las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende la aplicación de un filtro de respuesta de impulsos finitos (FIR) a señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas inversas.

6. El transmisor de señal óptica DD-OFDM según la reivindicación 2, en donde el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se inicia después de las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende transformadas de Fourier rápidas de señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas inversas, la aplicación de un filtro de dominio de frecuencia para señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas, y transformadas de Fourier rápidas inversas de señales producidas por la aplicación del filtro de dominio de frecuencia.

7. Un método para generar señales ópticas multiplexadas por división ortogonal de frecuencia de detección directa (DD-OFDM), comprendiendo el método:

- la realización, de forma selectiva, por una primera cadena de transmisión, del procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión;
- la realización, de forma selectiva, por una segunda cadena de transmisión, del procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión;

- 5 • en donde si la pre-compensación de dispersión no se realiza en la primera cadena de transmisión, y en la segunda cadena de transmisión, el suministro, por la primera cadena de transmisión, de primeras señales a un primer DAC, y el suministro, por la segunda cadena de transmisión, de segundas señales a un segundo DAC, comprendiendo las primeras señales digitales, y las segundas señales digitales, componentes en fase, pero no componentes en fase en cuadratura, y el envío, por el primer DAC, de sus salidas a un primer convertidor de E/O y el envío, por el segundo DAC, de sus salidas a un segundo convertidor de E/O; y
 - 10 • en donde si se realiza la pre-compensación de dispersión en la primera cadena de transmisión, el suministro, por la primera cadena de transmisión, de terceras señales al primer DAC, y el suministro de cuartas señales al segundo DAC, comprendiendo las terceras señales componentes en fase, y las cuartas señales comprenden componentes en cuadratura, y el envío, por los primero y segundo DACs, de sus salidas al primer convertidor de E/O.
- 15 8. El método según la reivindicación 7 que comprende, además: la realización, por la primera y/o segunda cadenas de transmisión, de operaciones para convertir un flujo de datos de entrada en señales a transmitirse, comprendiendo las operaciones la división del flujo de datos de entrada en símbolos, la modulación de los símbolos en sub-portadoras, y transformadas de Fourier rápidas inversas de los símbolos.
- 20 9. El método según la reivindicación 8, en donde dicho procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se inicia antes de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende la multiplicación de las sub-portadoras por un factor respectivo.
- 25 10. El método según la reivindicación 8, en donde dicho procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión se inicia después de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende la aplicación de un filtro de respuesta de impulsos finitos (FIR) a señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas inversas.
- 30 11. El método según la reivindicación 8, en donde dicho procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión de ejecución se inicia después de que se realicen las transformadas de Fourier rápidas inversas, y comprende:
- 35 la realización de transformadas de Fourier rápidas de señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas inversas;
- la aplicación de un filtro de dominio de frecuencia a las señales generadas por las transformadas de Fourier rápidas; y
- 40 la realización de transformadas de Fourier rápidas inversas a señales resultantes de la aplicación del filtro de dominio de frecuencia.
12. El método según la reivindicación 8, que comprende, además:
- 45 la conversión, por la primera y/o segunda cadena de transmisión, del flujo de datos de entrada desde información binaria en serie a información binaria en paralelo antes de dividir el flujo de datos de entrada en los símbolos;
- la denominada técnica 'Water Filling', por la primera y/o segunda cadena de transmisión, de las sub-portadoras antes de que se realice el procesamiento de señal digital de pre-compensación de dispersión; y
- 50 la adición, por la primera y/o segunda cadena de transmisión, de prefijos a los símbolos después de las transformadas de Fourier rápidas inversas de los símbolos.

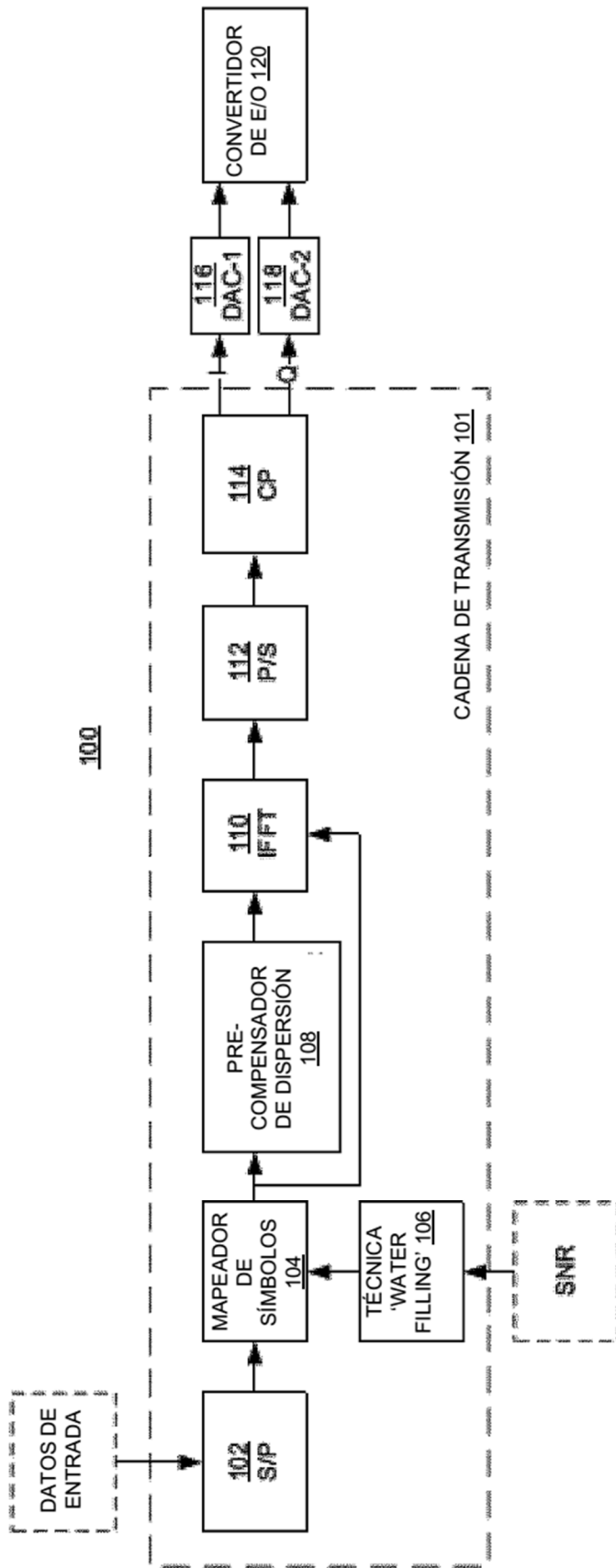


Fig. 1A

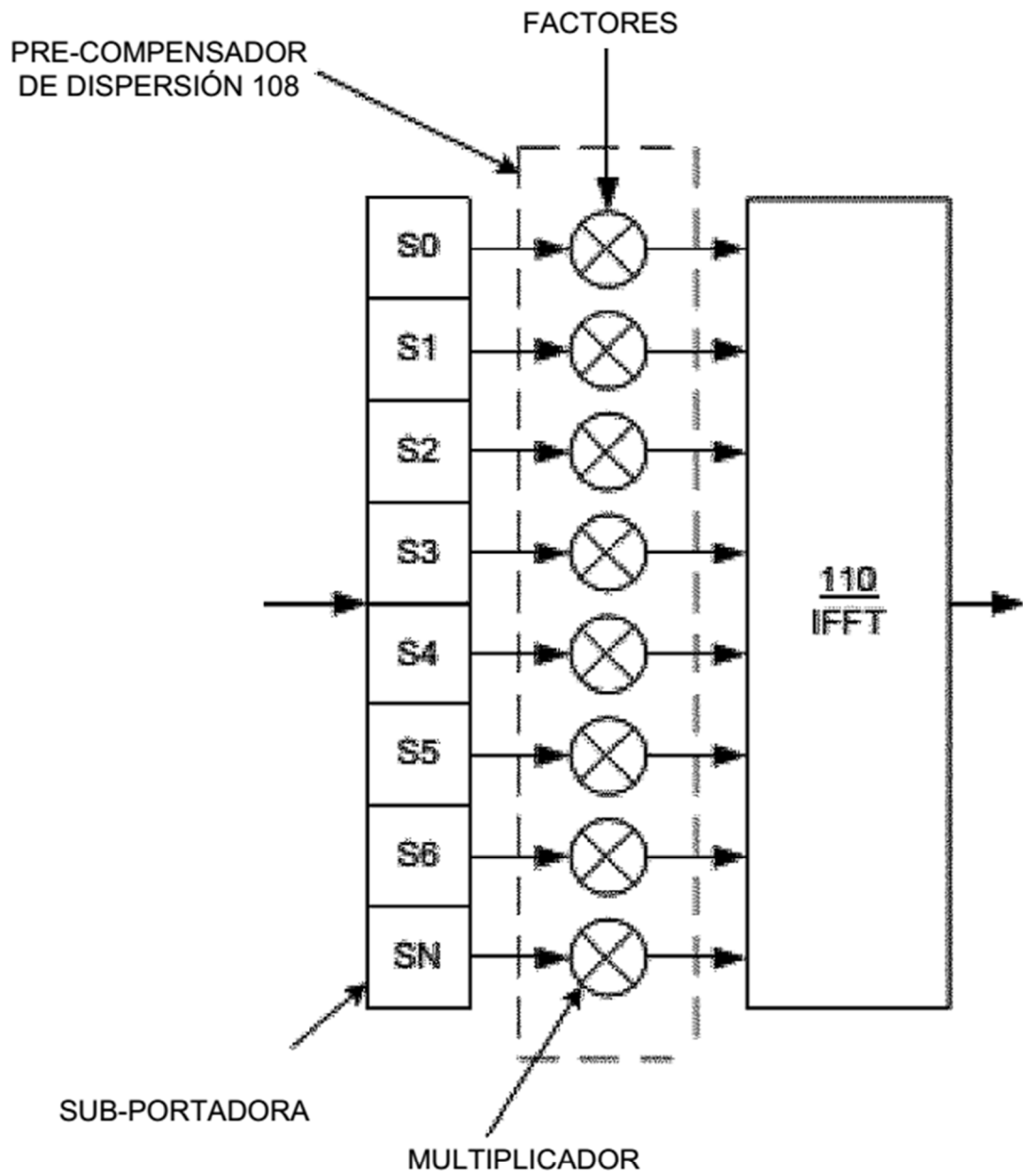


Fig. 1B

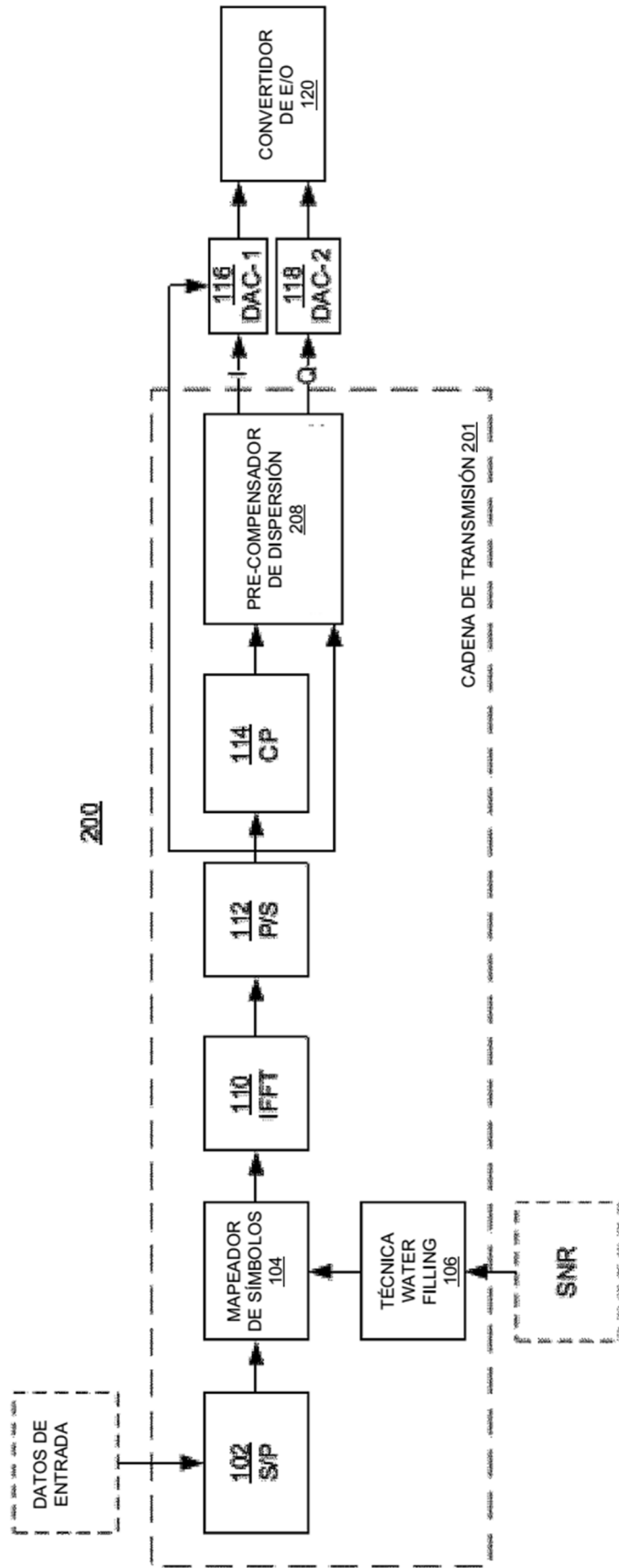


Fig. 2A

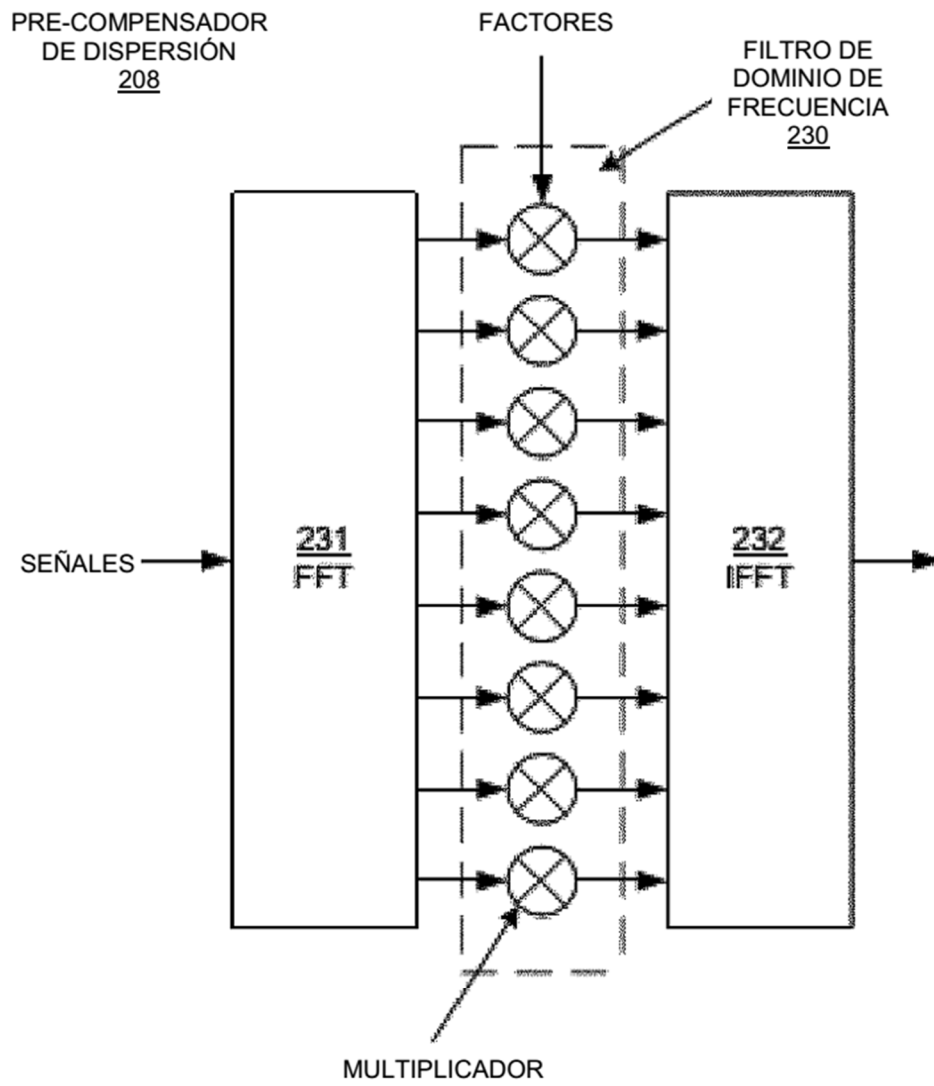


Fig. 2B

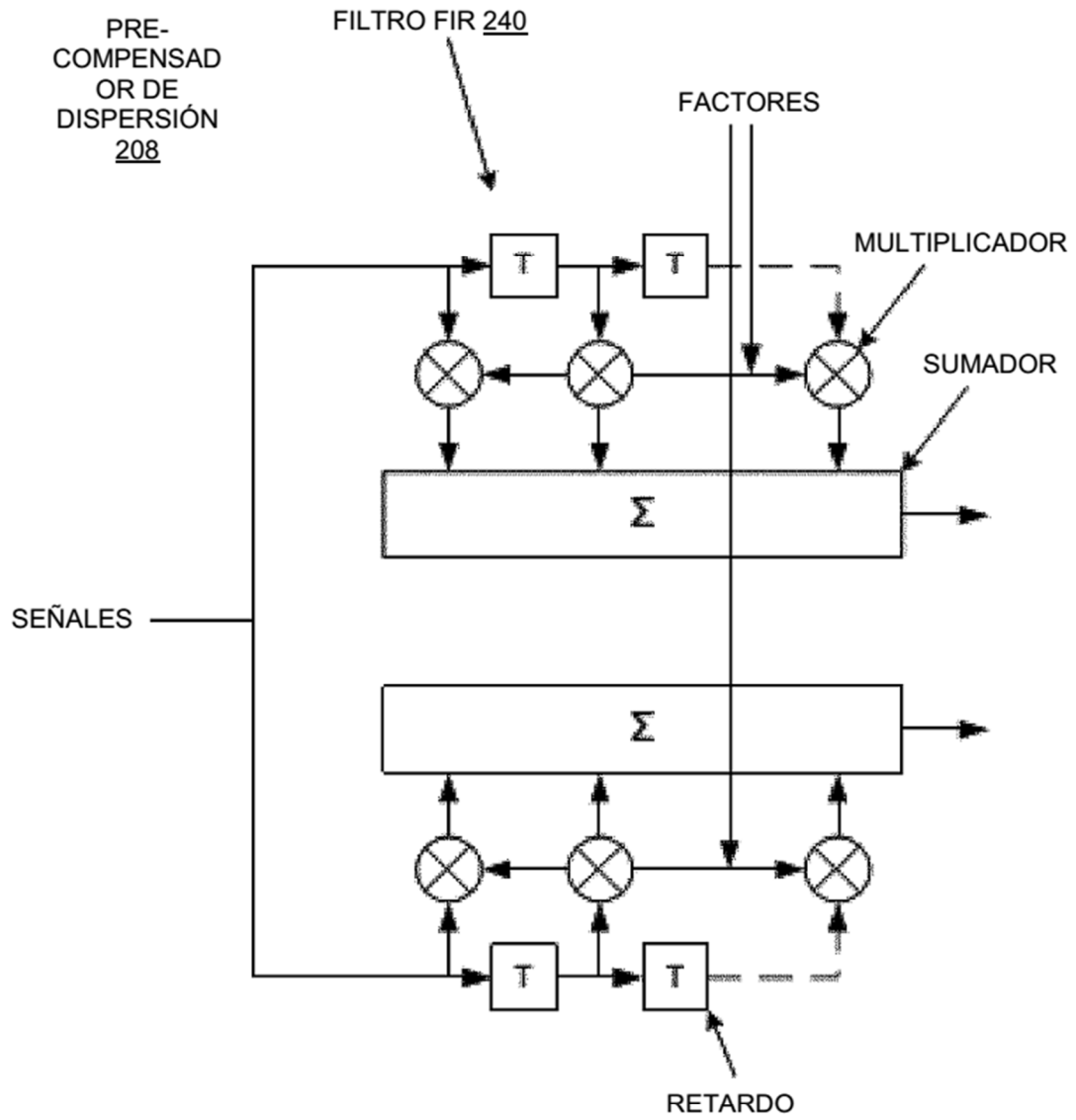


Fig. 2C

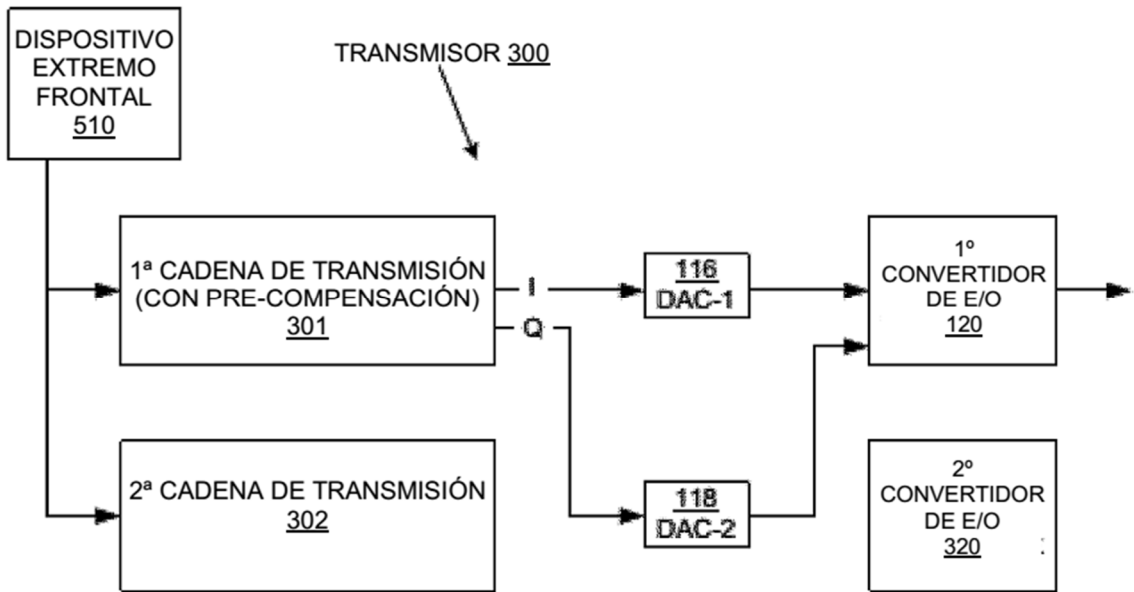


Fig. 3A

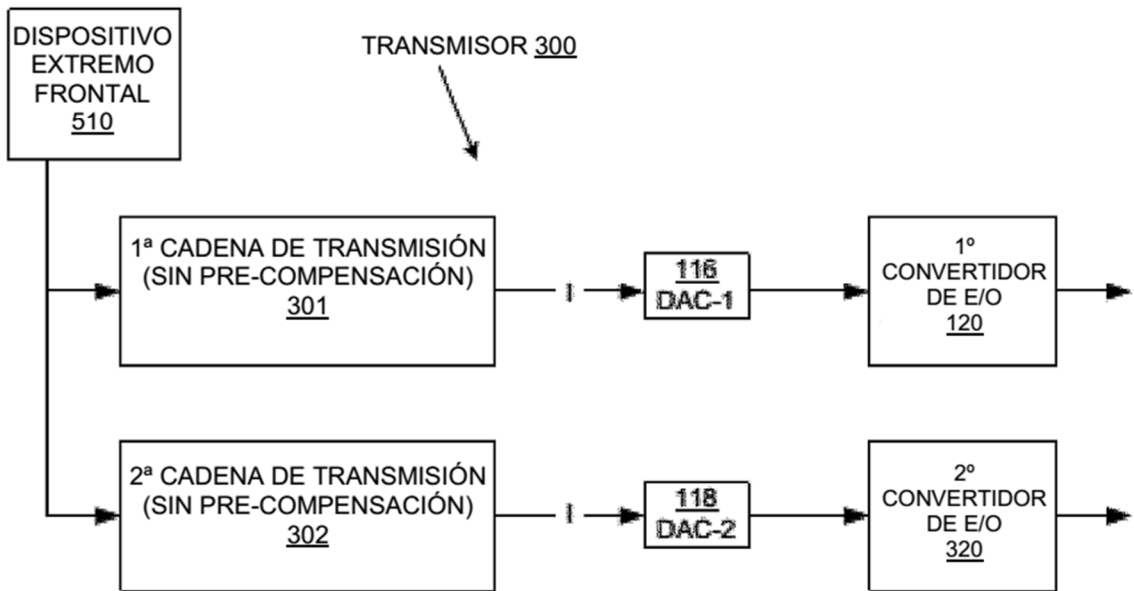


Fig. 3B

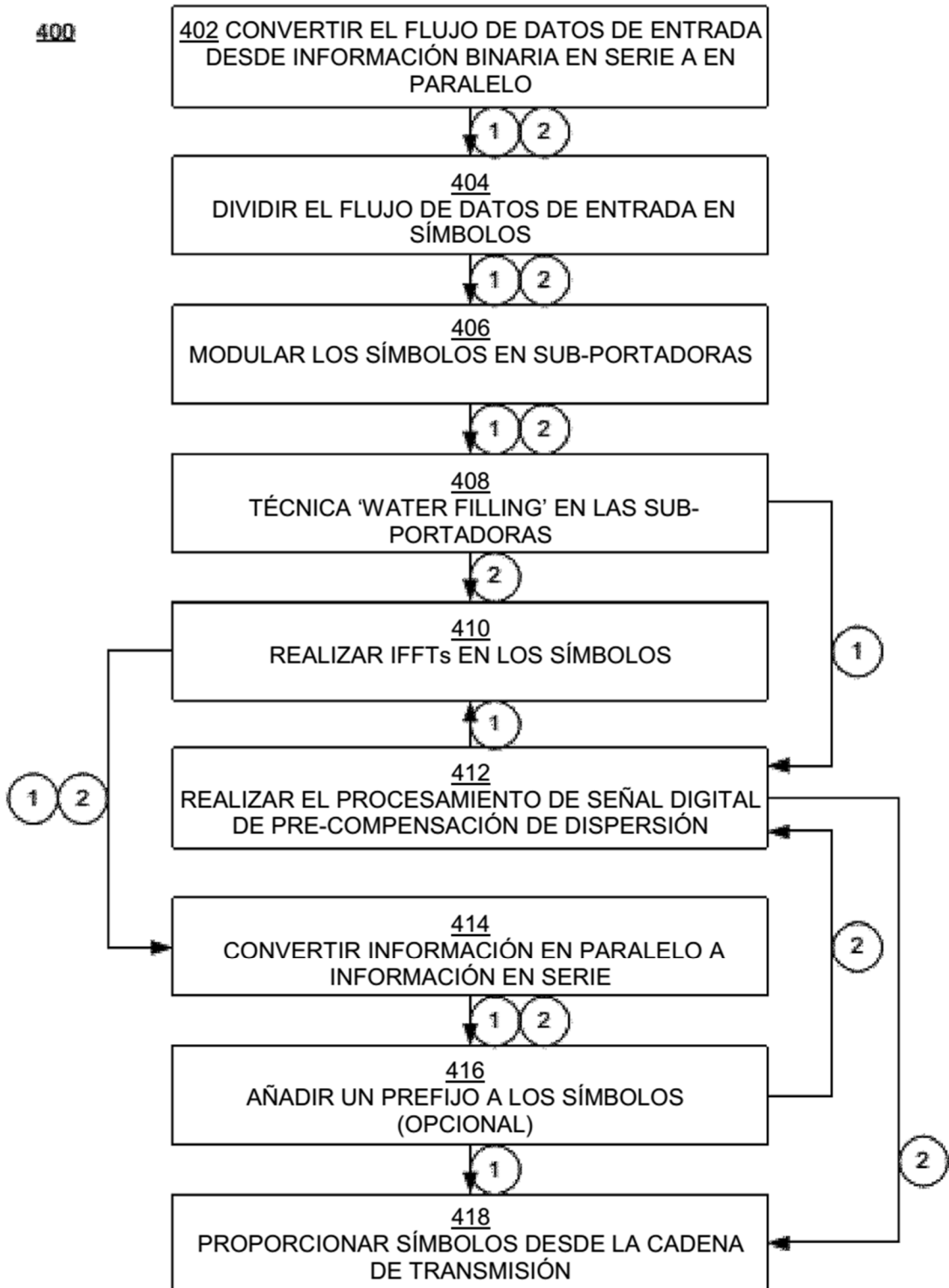


Fig. 4

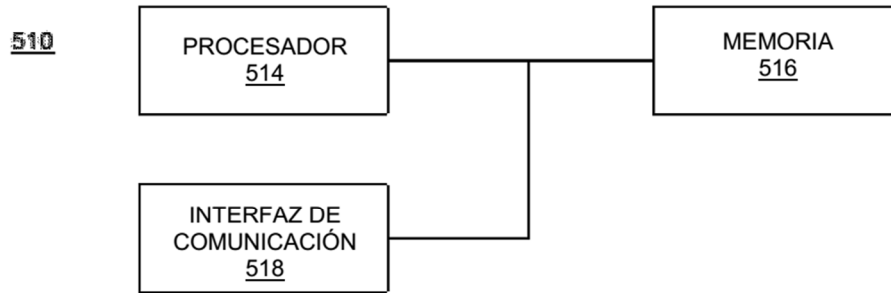


Fig. 5