

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 707**

51 Int. Cl.:

H04B 10/2543 (2013.01)

H04B 10/40 (2013.01)

H04B 10/61 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.07.2015 PCT/CN2015/084681**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2016 WO16011933**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2015 E 15824672 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 3161977**

54 Título: **Compensación de degradaciones de transmisor de no linealidad en redes de comunicación óptica**

30 Prioridad:

25.07.2014 US 201414341373

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

28.10.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KAN, CLARENCE;
ZHU, FEI y
LI, ZHIHONG**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 728 707 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

Compensación de degradaciones de transmisor de no linealidad en redes de comunicación óptica

5 Antecedentes

10 Las redes de comunicación óptica cumplen una función importante en la comunicación a escala mundial. Han sustituido, cada vez más, las comunicaciones de cable de cobre debido a las diversas ventajas que ofrecen. Las redes de comunicación óptica pueden incluir varios nodos conectados por fibras ópticas o espacio libre. A medida que los usuarios exigen tasas de datos más altas, es cada vez más importante transmitir y recibir datos ópticos con mayor precisión.

15 El documento US 2012/0141134 A1 da a conocer un transpondedor que está adaptado para comunicarse con otro transpondedor a través de al menos un canal óptico. El transpondedor comprende un primer receptor que tiene un monitor y un primer transmisor. El primer receptor está configurado para recibir una primera señal transmitida por un segundo transmisor del transpondedor adicional a través del canal óptico. El monitor está configurado para proporcionar al menos un parámetro de canal que describe el canal óptico en función de la primera señal recibida. El primer transmisor está configurado para transmitir el al menos un parámetro de canal al transpondedor adicional para ajustar un pre-ecualizador del transpondedor adicional.

20 El documento US 2012/0081780 A1 se refiere a sistemas y métodos para procesar una señal óptica utilizando un pre-procesador para rellenar una estructura de datos de compensación de no linealidad basada en un conjunto de reglas predeterminadas en un modo fuera de línea no en tiempo real; y un amplificador que aplica dichas reglas predeterminadas en tiempo real a uno o más datos de entrada de canal utilizando la estructura de datos para determinar una salida de compensación de no linealidad.

30 El documento WO 2010/104783 A1 da a conocer un sistema y un método de compensación de distorsión que se puede utilizar para compensar la distorsión de señal dependiente del patrón de datos en una señal recibida en un receptor de señal óptica compatible. En general, el sistema y el método de compensación de distorsión comparan un campo de señal que se recibe con formas de onda de señal distorsionadas memorizadas que se asocian con patrones de datos conocidos y seleccionan un valor de compensación asociado con la forma de onda de señal distorsionada que se corresponde, más estrechamente, con el campo de señal recibido. El sistema y el método de compensación de distorsión compensan la señal recibida utilizando el valor de compensación seleccionado y, de este modo, mitigan los efectos de la distorsión de señal dependiente del patrón de datos.

35 Sumario de la invención

40 En una forma de realización de conformidad con la reivindicación 1, la idea inventiva incluye un transceptor óptico que comprende un transmisor configurado para transmitir una primera señal, y un receptor acoplado al transmisor y configurado para recibir una primera compensación, en donde la primera compensación está basada en un análisis dependiente de patrón de la primera señal, y proporciona la primera compensación al transmisor, en donde el transmisor está configurado, además, para compensar una segunda señal basada en la primera compensación para formar una primera señal compensada, y transmitir la primera señal compensada.

45 En otra forma de realización de conformidad con la reivindicación 5, la idea inventiva incluye un transmisor óptico que comprende un procesador de señal digital (DSP) que comprende un compensador, un convertidor digital a analógico (DAC) acoplado al DSP, un amplificador de radiofrecuencia (RFA) acoplado al DAC, y un convertidor eléctrico a óptico (EOC) acoplado al RFA.

50 En otra forma de realización adicional de conformidad con la reivindicación 9, la idea inventiva incluye un receptor óptico que comprende un convertidor óptico a eléctrico (OEC), un convertidor analógico a digital (ADC) acoplado al OEC, y un procesador de señal digital (DSP) acoplado al ADC y que comprende un calibrador.

55 En otra forma de realización adicional, la idea inventiva incluye un método de conformidad con la reivindicación 12, que comprende la transmisión de una primera señal óptica, la recepción de una primera compensación, en donde la primera compensación está basada en un análisis dependiente del patrón de la primera señal óptica, compensando una segunda señal óptica en función de la primera compensación con el fin de formar una primera señal óptica compensada, y la transmisión de la primera señal óptica compensada.

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

65

Breve descripción de los dibujos

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

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un dispositivo de red.

10 La Figura 2 es un diagrama esquemático de una red óptica de conformidad con una forma de realización de la invención.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un modulador óptico de conformidad con una forma de realización de la invención.

15 La Figura 4 es un diagrama esquemático de una red óptica de conformidad con otra forma de realización de la invención.

20 La Figura 5 es un diagrama esquemático del calibrador en la red óptica en la Figura 4 de conformidad con una forma de realización de la invención.

La Figura 6 es un ejemplo de una tabla de consulta dependiente del patrón (PD-LUT) de conformidad con una forma de realización de la invención.

25 La Figura 7 es un diagrama esquemático del compensador en la red óptica en la Figura 4 de conformidad con una forma de realización de la invención.

La Figura 8 es un diagrama de secuencia de mensaje que ilustra el sistema iterativo de calibración y compensación de conformidad con una forma de realización de la invención.

30 La Figura 9 es un gráfico de una tasa de error binario (BER) modelada para la red óptica ilustrada en la Figura 4.

La Figura 10 es otro gráfico de una tasa BER modelada para la red óptica en la Figura 4.

35 La Figura 11 es un gráfico de una constelación de símbolo experimental para la red óptica de la Figura 4.

La Figura 12 es otro gráfico de una constelación de símbolo experimental para la red óptica ilustrada en la Figura 4.

40 La Figura 13 es un gráfico de una relación de señal óptica a ruido experimental (OSNR) frente a una tasa BER para la red óptica en la Figura 4.

La Figura 14 es un gráfico de longitud de patrón experimental frente a una tasa BER para la red óptica de la Figura 4.

45 La Figura 15 es un diagrama de flujo que ilustra un método de compensación de degradación de transmisor de conformidad con una forma de realización de la invención.

Descripción detallada

50 Ha de entenderse desde el principio que, aunque a continuación se da a conocer una puesta en práctica ilustrativa de una o más formas de realización, los sistemas y/o métodos descritos dados a conocer se pueden realizar utilizando cualquier número de técnicas, ya sean conocidas, o en existencia. La invención no debe limitarse de ninguna manera a las realizaciones, dibujos y técnicas ilustrativas que se muestran a continuación, incluidos los diseños y puestas en práctica, aquí ilustrados y descritos a modo de ejemplo, sino que se puede modificar dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas junto con su gama completa de equivalentes.

55 La Figura 1 es un diagrama esquemático de un dispositivo de red 100. El dispositivo de red 100 puede ser adecuado para poner en práctica las formas de realización descritas. El dispositivo de red 100 puede incluir puertos de entrada 110 y unidades de recepción (Rx) 120 para recibir datos; un procesador, unidad lógica o unidad central de procesamiento (CPU) 130 para procesar los datos; unidades de transmisión (Tx) 140 y puertos de salida 150 para transmitir los datos; y una memoria 160 para la memorización de los datos. El dispositivo de red 100 puede comprender, además, componentes ópticos a eléctricos (OE) y componentes eléctricos a ópticos (EO) acoplados a los puertos de entrada 110, unidades de recepción 120, unidades de transmisión 140, y puertos de salida 150 para la salida o entrada de señales ópticas o eléctricas.

El procesador 130 se puede poner en práctica por hardware y software. El procesador 130 se puede realizar como uno o más circuitos integrados de CPU, núcleos (p.ej., como un procesador de múltiples núcleos), matrices de puertas programables en campo (FPGAs), circuitos integrados específicos de la aplicación (ASICs) y procesadores de señal digital (DSPs). El procesador 130 puede estar en comunicación con los puertos de entrada 110, unidades de recepción 120, unidades de transmisión 140, puertos de salida 150 y memoria 160.

La memoria 160 puede comprender uno o más discos, unidades de cinta, y unidades de estado sólido; se puede utilizar como un dispositivo de memorización de datos de flujo sobrante; puede usarse para almacenar programas cuando dichos programas se seleccionan para su ejecución; y se puede utilizar para memorizar instrucciones y datos que se leen durante la ejecución del programa. La memoria 160 puede ser volátil y no volátil y puede ser una memoria de solamente lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria direccionable por contenido ternario (TCAM) y memoria de acceso aleatorio estática (SRAM).

La Figura 2 es un diagrama esquemático de una red óptica 200. La red 200 puede comprender un primer transceptor 205 y un segundo transceptor 250 en comunicación entre sí a través de un soporte 245. Los componentes de la red óptica 200 pueden estar dispuestos tal como se muestra, o en cualquiera otra forma adecuada. Algunos de los componentes pueden incluir múltiples entradas y múltiples salidas que, a modo de ejemplo, se pueden ejecutar en paralelo; sin embargo, los componentes pueden simplificarse para facilitar su comprensión.

A modo de un ejemplo, el primer transceptor 205 puede estar situado en cualquier nodo en una red óptica, y el segundo transceptor 250 puede situarse en cualquier otro nodo en la red óptica. Como alternativa, el TX 210 y el RX 255 pueden ser parte de un único transceptor en una configuración de retorno de fibra. Además, el primer transceptor 205, y el segundo transceptor 250, pueden situarse en cualquier red de comunicación óptica, incluyendo una red de larga distancia, una red metropolitana, una red óptica pasiva (PON) u otra red óptica que utilice modulación de orden superior.

El primer transceptor 205 puede ser cualquier transceptor adecuado para transmitir y recibir señales ópticas. El primer transceptor 205 puede incluir un transmisor (TX) 210 y un receptor (RX) 240 acoplados entre sí a través de un acoplador 235. El TX 210 puede comprender módulos, incluyendo un procesador de señal digital (DSP) 215, un convertidor digital a analógico (DAC) 220, un amplificador de radiofrecuencia (RFA) 225 y un convertidor eléctrico a óptico (EOC) 230. Los componentes del primer transceptor 205 pueden estar dispuestos tal como se ilustra o de cualquier otra forma adecuada.

El soporte 245 puede ser cualquier soporte adecuado para proporcionar comunicación entre el primer transceptor 205 y el segundo transceptor 250. A modo de ejemplo, el soporte 245 puede ser un cable de fibra óptica. En ese caso, el soporte 245 puede incluir una o más fibras ópticas que comprenden, cada una, un núcleo y una capa de revestimiento, y el soporte 245 puede estar contenido en un tubo para protegerse del medio ambiente.

El segundo transceptor 250 puede ser cualquier transceptor adecuado para transmitir y recibir señales ópticas. El segundo transceptor 250 puede incluir un RX 255 y un TX 280, acoplados entre sí a través de un acoplador 275. El RX 255 puede comprender varios módulos, incluyendo un DSP 260, un convertidor de analógico a digital (ADC) 265 y un convertidor óptico a eléctrico (OEC) 270. Los componentes del segundo transceptor 250 pueden estar dispuestos tal como se ilustra, o de cualquier otra forma adecuada. El primer transceptor 205, y el segundo transceptor 250, pueden comprender componentes adicionales conocidos en la técnica con el fin de que el primer transceptor 205, y el segundo transceptor 250, se comuniquen entre sí.

El primer transceptor 205 puede necesitar transmitir señales al segundo transceptor 250. Con el fin de generar una señal de modulación de orden superior sobre un modulador óptico en fase (I) y en cuadratura (Q), en primer lugar, el DSP 215 puede formar señales eléctricas digitales de niveles múltiples I y Q y pre-acondicionar dichas señales eléctricas digitales. En segundo lugar, el DAC 220 puede convertir las señales eléctricas digitales en señales eléctricas analógicas. El DAC 220 puede tener una resolución finita y una respuesta de frecuencia. En tercer lugar, la RFA 225 puede amplificar las señales eléctricas analógicas. El RFA 225 puede tener un ancho de banda finito. En cuarto lugar, el EOC 230, que puede incluir un modulador Mach-Zehnder, puede convertir las señales eléctricas analógicas en señales ópticas. En quinto lugar, el primer transceptor 205 puede transmitir las señales ópticas a través del acoplador 235 y el soporte 245 al segundo transceptor 250.

El segundo transceptor 250 puede recibir, en primer lugar, las señales ópticas a través del soporte 245 y por intermedio del acoplador 275. En segundo lugar, el OEC 270 puede convertir las señales ópticas en señales eléctricas analógicas. En tercer lugar, el ADC 265 puede convertir las señales eléctricas analógicas en señales eléctricas digitales. En cuarto lugar, el DSP 260 puede procesar las señales eléctricas digitales según sea adecuado.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un modulador óptico 300. El modulador 300 puede ser un dispositivo multiplexado por polarización I y Q de Mach-Zehnder y se puede utilizar en el EOC 230. El modulador 300 puede comprender un divisor de haz de polarización (PBS) 310, una primera matriz de modulación de Mach-Zehnder 320,

una segunda matriz de modulación de Mach-Zehnder 330, y un acoplador de haz de polarización (PBC) 340. Los componentes del modulador 300 pueden estar dispuestos tal como se ilustra o de cualquier otra forma adecuada.

El PBS 310 puede dividir un láser en un componente de polarización X, y un componente de polarización Y. La primera matriz de modulación de Mach-Zehnder 320 puede dividir el componente de polarización X en un primer componente y segundo componente, y modular el primer componente como un componente X_I y el segundo componente como un componente X_Q . El componente X_Q puede ser objeto de polarización por tensión para tener un desplazamiento de fase óptica de $\pi/2$ en comparación con el componente X_I . La primera matriz de modulación de Mach-Zehnder 320 puede, entonces, multiplexar el componente X_I y el componente X_Q juntos para formar un componente X modulado. La segunda matriz de modulación de Mach-Zehnder 330 puede dividir el componente de polarización Y en un primer componente y segundo componente, y modular el primer componente como un componente Y_I y el segundo componente como un componente Y_Q . El componente X_Q puede ser polarizado en tensión para tener un desplazamiento de fase óptica de $\pi/2$ en comparación con el componente X_I . La segunda matriz de modulación de Mach-Zehnder 320 puede, entonces, multiplexar el componente Y_I y el componente Y_Q juntos con el fin de formar un componente Y modulado. Por último, el PBC 340 puede acoplar, o multiplexar, el componente X modulado y el componente Y modulado, para formar una señal multiplexada por polarización.

La modulación de orden superior es una tecnología prometedora para lograr una transmisión de Terabit (Tb) espectralmente eficiente en redes ópticas, tal como la red 200. Las señales moduladas de orden superior pueden ser generadas por moduladores tal como el modulador óptico 300. Al modular tanto el componente de polarización X como el componente de polarización Y, el modulador óptico 300, pueden duplicar la eficiencia espectral.

Utilizando los enfoques existentes para el acondicionamiento previo de las señales eléctricas digitales en el DSP 215, en el primer transceptor 205, las señales se pueden desviar sustancialmente de los valores previstos debido a respuestas de no linealidades de los componentes eléctricos y ópticos del TX 210. En el primer transceptor 205. Dichas desviaciones, o degradaciones, pueden causar una BER deficiente en un receptor compatible, tal como el RX 255 en el segundo transceptor 250. Una BER deficiente puede acortar las distancias de transmisión, lo que puede aumentar la necesidad de regeneración de señal, teniendo como consecuencia mayores costos de infraestructura.

Las degradaciones pueden comprender dos partes, una parte estática que no depende del patrón de datos, y una parte dinámica que depende del patrón de datos. La parte dinámica que depende del patrón de datos puede deberse a un efecto de memoria. Con la aplicación de un filtro de modelado de pulso Nyquist cercano, tal como un filtro de coseno de raíz elevada (RRC) con un factor de reducción de menos de 0.2, la desviación del nivel se vuelve prácticamente dependiente del patrón debido a la interferencia entre símbolos inducida por el filtrado (ISI).

Las técnicas DSP pueden, al menos parcialmente, igualar, o compensar, las degradaciones. En el TX 210 en el primer transceptor 205, un ecualizador de dominio de frecuencia (FDEQ), y un pre-ecualizador de respuesta de impulso finito (FIR) pueden compensar degradaciones lineales tales como las limitaciones de ancho de banda de radiofrecuencia (RF) o retardos I-Q. En el RX 255, en el segundo transceptor 250, un FDEQ puede compensar la dispersión cromática de fibra y realizar una optimización de filtrado de frecuencia, incluyendo una compensación de ancho de banda. Un ecualizador en el dominio temporal (TDEQ) y un módulo de recuperación de portadora (CR) pueden recuperar la polarización X y la polarización Y transmitidas y compensar para ISI, la dispersión del modo de polarización y la recuperación de la fase portadora. Sin embargo, estas técnicas de DSP no pueden compensar degradaciones de no linealidades dependientes del patrón.

Los enfoques anteriores para compensar las degradaciones de no linealidades dependientes del patrón incluyen los de Joel L. Dawson, titulado: "Técnicas de linealización del amplificador de potencia: Una descripción general," 4 de febrero de 2001 ("Dawson"); Shawn P. Stapleton, titulado: "Presentación sobre distorsión previa digital de amplificadores de potencia", junio de 2001 ("Stapleton"); Jian Hong Ke, et al., "Súper-canal de polarización doble de 16-QAM de tres portadoras de 1 Tbit/s de polarización doble utilizando la Corrección de Tabla de Consulta y Formación de Pulso Óptico", Optics Express, vol. 22, nº 1, 13 de enero de 2014 ("Ke 1"); y Jian Hong Ke, et al., "señales de súper-canal de tres portadoras de 400 Gbit/s y portadora de 1 Tbit/s que utilizan una polarización doble de 16-QAM con corrección de tabla de consulta y formación de pulso óptico", Optics Express, vol. 22, nº 1, 20 de diciembre de 2013 ("Ke 2"). El primer enfoque de Ke 1 y Ke 2 utiliza una señal muestreada, de forma digital, en el transmisor para generar una PD-LUT. La señal muestreada se ajusta luego sobre la base de la tabla PD-LUT con el fin de obtener una amplitud de controlador ecualizada o compensada. En primer lugar, ese enfoque puede requerir hardware adicional, incluido un divisor de RF y un convertidor ADC en el transmisor, para adquirir la señal del controlador muestreada. En segundo lugar, ese enfoque puede tener como resultado una pérdida de potencia del controlador. En tercer lugar, ese enfoque puede compensar, incorrectamente, la distorsión previa intencional, como la formación del pulso, la compensación previa del ancho de banda y la compensación previa de la dispersión, que se pueden utilizar para compensar las degradaciones de la transmisión después del punto en donde se muestrea la señal. El segundo enfoque de Ke 1 y Ke 2 genera la PD-LUT y compensa la señal en el receptor de DSP. Ambos enfoques describen una única iteración de calibración y compensación.

En el presente documento se describen formas de realización para mejorar la compensación de degradaciones del transmisor. Dichas degradaciones pueden ser degradaciones de no linealidades, dependientes del patrón. Las formas de realización dadas a conocer pueden proporcionar una calibración mediante la generación de una compensación, que puede ser una PD-LUT, basada en un análisis dependiente del patrón de datos recibidos en un receptor, y a continuación, la ecualización de nivel dependiente del patrón (PD-LEQ), o compensación, en un transmisor basado en la PD-LUT. Pueden existir múltiples iteraciones de calibración y compensación con cada iteración sucesiva que proporciona una compensación mejorada. Las formas de realización descritas pueden ser adecuadas para cualquier red de comunicación óptica, incluyendo una PON, una red de larga distancia, una red metropolitana, u otra red óptica que utilice una modulación de orden superior. Las formas de realización dadas a conocer pueden proporcionar al menos tres ventajas. En primer lugar, mediante la generación de la PD-LUT basada en el análisis dependiente del patrón de datos recibidos en el receptor y no en el transmisor, es posible que el transmisor no requiera ningún hardware adicional, lo que puede reducir el tamaño y el costo del transmisor. En segundo lugar, puede existir menos, o ninguna, compensación no deseada de la distorsión previa intencional, tal como compensación previa del ancho de banda, formación de pulso, y pre-compensación de dispersión. En tercer lugar, mediante la calibración en el receptor después del DSP, incluyendo después del TDEQ, y luego, mediante la compensación en el transmisor, las deficiencias se pueden compensar con mayor precisión puesto que la secuencia de datos está libre de errores y los patrones de datos pueden determinarse, con precisión, en el transmisor. En cuarto lugar, las múltiples iteraciones de calibración y compensación pueden mejorar, todavía más, la compensación y, por lo tanto, reducir la BER en el receptor.

La Figura 4 es un diagrama esquemático de una red óptica 400 de conformidad con una forma de realización de la invención. Tal como puede observarse, la red 400 puede ser la misma, y funcionar igual, que la red 200 con algunas excepciones. Primero, el DSP 260 en el segundo transceptor 250 puede incluir un módulo adicional, un calibrador 410. Segundo, el RX 255 puede comunicarse con el TX 280 en el segundo transceptor 250 para, a modo de ejemplo, proporcionar una PD-LUT. En tercer lugar, el DSP 215 en el primer transceptor 205 puede comprender un módulo adicional, un compensador 420. El TX 210 puede no incluir ningún módulo de procesamiento de señal adicional antes del compensador 420. En cuarto lugar, el TX 210 se puede comunicar con el RX 240 en el primer transceptor 205 para, a modo de ejemplo, recibir la PD-LUT. Los componentes de la red óptica 400 pueden estar dispuestos según se ilustra o de cualquier otra forma adecuada.

El calibrador 410 puede generar la PD-LUT, y el RX 255 puede proporcionar la PD-LUT al TX 280. El TX 280 puede transmitir la tabla PD-LUT al primer transceptor 205, a través del acoplador 275, y el soporte 245. El RX 240 puede recibir la PD-LUT a través del soporte 245 y el acoplador 235. El RX 240 puede proporcionar la PD-LUT al TX 210, y el compensador 420 puede compensar las señales en el TX 210 en función de la PD-LUT. El funcionamiento del calibrador 410 y el compensador 420 se describen, a continuación, con más detalle.

La Figura 5 es un diagrama esquemático del calibrador 410 en la red óptica 400, ilustrada en la Figura 4, de conformidad con una forma de realización de la invención. El calibrador 410 puede comprender módulos, que incluyen un módulo TDEQ de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) y módulo CR 510; un troceador 520; un comparador de patrones 530; un calculador de promedio 540; un calculador de ajuste 550; y un generador de PD-LUT 560. Los componentes del calibrador 410 pueden estar dispuestos tal como se ilustra, o de cualquier otra forma adecuada. Algunos de los componentes pueden comprender entradas múltiples y salidas múltiples que, a modo de ejemplo, se pueden ejecutar en paralelo; sin embargo, los componentes pueden simplificarse para facilitar su comprensión.

El calibrador 410 puede generar cuatro PD-LUTs, una para cada uno de entre un componente X_I , componente X_Q , componente Y_I , y un componente Y_Q . El componente X_I puede corresponder a una polarización X y un componente I de una señal, el componente X_Q puede corresponder a una polarización X y un componente Q de la señal, el componente Y_I puede corresponder a una polarización Y, y un componente I de la señal y el componente Y_Q puede corresponder a una polarización Y, y un componente Q, de la señal. El calibrador 410 se describe más adelante con respecto a un componente arbitrario de la señal.

El módulo TDEQ MIMO y CR 510 puede recibir una entrada desde el DSP 260 del RX 255. La entrada desde el DSP 260 puede ser el resultado de técnicas conocidas de procesamiento de señal digital (DSP) aplicadas en, a modo de ejemplo, módulos de flujo ascendente del DSP 260. La parte MIMO del módulo TDEQ MIMO y CR 510 puede demultiplexar los componentes X e Y de la entrada del DSP 260. La parte TDEQ del módulo TDEQ MIMO y CR 510 puede ecualizar la distorsión lineal de la señal. La parte CR del módulo TDEQ MIMO y CR 510 puede recuperar una fase de modulación. A modo de ejemplo, la señal puede haber sido modulada utilizando una modulación de amplitud en cuadratura (QAM). La salida del módulo TDEQ MIMO y CR 510 puede ser una señal suave que comprende el componente X_I , el componente X_Q , el componente Y_I y el componente Y_Q . Una señal suave puede referirse a la señal realmente recibida. Dicho de otro modo, la señal suave puede ser el resultado de ruido y distorsión y, por lo tanto, puede no corresponder a los niveles discretos del sistema de modulación.

El troceador 520 puede comparar la señal suave con los niveles discretos del sistema de modulación. El troceador 520 puede, entonces, convertir la señal suave en una señal dura en función de la comparación. Una señal dura se puede referir a una señal con símbolos correspondientes a los niveles discretos del sistema de modulación.

5 El comparador de patrones 530 puede comparar la señal dura con niveles objeto de mapeado de correspondencia, que pueden estar basados en un sistema arbitrario. El sistema arbitrario puede tener la misma cantidad de niveles que el sistema de modulación, pero utiliza niveles diferentes. El comparador de patrones 530 puede convertir, entonces, la señal dura en una señal coincidente en función de la comparación. El comparador de patrones 530 puede calcular, además, un índice de patrones multiplicando el primer símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo, multiplicando el segundo símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo, y así sucesivamente para cada símbolo, después, añadiendo las cantidades juntas.

10 El calculador de promedio 540 puede calcular un promedio del símbolo central de cada secuencia de la señal suave. El calculador de ajuste 550 puede abstraer el promedio de los símbolos centrales de la señal dura para obtener el ajuste. El símbolo central para cada una de las secuencias que corresponden a un índice de patrón será el mismo.

15 Por último, el generador de PD-LUT 560 puede generar una PD-LUT basada en el índice del patrón y el ajuste. La PD-LUT puede incluir, además, índices de patrón adicionales con sus respectivos ajustes. El generador de PD-LUT 560 puede generar PD-LUTs similares para cada componente X_I , componente X_Q , componente Y_I y componente Y_Q de la señal introducida desde el DSP 260. El RX 255 puede proporcionar las PD-LUTs al TX 280, y el TX 280 puede transmitir las PD-LUTs al primer transceptor 205 a través del acoplador 275 y el soporte 245.

20 A modo de ejemplo, el calibrador 410 puede recibir del DSP 260 una señal con secuencias que comprenden cinco símbolos consecutivos (es decir, una longitud de patrón de cinco) y que se modula utilizando 16-QAM, que puede producir cuatro niveles discretos (p.ej., -3, -1, 1 y 3). Por lo tanto, el número de patrones únicos puede ser 4^5 o 1.024. En consecuencia, el margen del índice de patrón puede ser 0 - 1,023 o 1 - 1,024. Después de realizar sus funciones, el módulo TDEQ MIMO y CR 510 puede emitir, entonces, la señal suave como sigue:

25

$$\begin{aligned} &(-3.1, -2.8, -1.2, 1.2, 3.2) && (1) \\ &(-3.2, -2.9, -1.1, 1.4, 2.9) \\ 30 &(-2.9, -2.7, -0.8, 1.1, 3.1). \end{aligned}$$

El troceador 520 puede comparar la señal suave (1) con los cuatro niveles discretos, -3, -1, 1 y 3. A modo de ejemplo, -3.1 en el primer símbolo, de la primera secuencia, puede estar más cerca de -3 que de cualquier otro nivel discreto, -2.8 en el segundo símbolo, de la primera secuencia, puede estar más cerca de -3 que de cualquier otro nivel discreto, -1.2 en el tercer símbolo, de la primera secuencia, puede estar más cerca de -1 que de cualquier otro nivel discreto, 1.2 en el cuarto símbolo, de la primera secuencia, puede estar más cerca de 1 que de cualquier otro nivel discreto, y 3.2 en el quinto símbolo, de la primera secuencia, puede estar más cerca de 3 que de cualquier otro nivel discreto. El troceador 520 puede comparar, de forma similar, las secuencias restantes para obtener la siguiente señal dura:

35

$$\begin{aligned} &(-3, -3, -1, 1, 3) && (2) \\ &(-3, -3, -1, 1, 3) \\ 40 &(-3, -3, -1, 1, 3). \end{aligned}$$

El comparador de patrones 530 puede hacer coincidir la señal dura (2) con una señal coincidente basada en cuatro niveles objeto de mapeado de correspondencia (p.ej., 0, 1, 2 y 3). La señal dura (2) puede, por lo tanto, convertirse en la siguiente señal coincidente:

45

$$\begin{aligned} &(0, 0, 1, 2, 3) && (3) \\ &(0, 0, 1, 2, 3) \\ &(0, 0, 1, 2, 3). \end{aligned}$$

El comparador de patrones 530 puede calcular, además, el índice de patrón de la señal coincidente (3) multiplicando el primer símbolo, en la primera secuencia, de la señal por el número de niveles coincidentes (es decir, 4) elevado a la potencia del símbolo número (es decir, 0), multiplicando el segundo símbolo, en la primera secuencia, de la señal por el número de niveles coincidentes (es decir, 4) elevado a la potencia del número de símbolo (es decir, 1), y así sucesivamente para cada símbolo, sumando, a continuación, las cantidades juntas de la forma siguiente:

50

$$(0 \times 4^0) + (0 \times 4^1) + (1 \times 4^2) + (2 \times 4^3) + (3 \times 4^4) = 912. \quad (4)$$

El calculador de promedio 540 puede calcular entonces el promedio del símbolo central (es decir, el tercero) de cada secuencia de la señal suave (1) de la siguiente manera:

5

$$\frac{(-1.2)+(-1.1)+(-0.8)}{3} = -1.03. \quad (5)$$

El calculador de ajuste 550 puede sustraer el promedio (5) del símbolo central de la señal dura (2) para obtener el ajuste de la forma siguiente:

10

$$(-1) - (-1.03) = 0.03. \quad (6)$$

Por último, el generador de PD-LUT 560 puede generar una PD-LUT en función del índice de patrón (4), 912, y el ajuste (6), 0.03.

15

La Figura 6 es un ejemplo de una PD-LUT 600 de conformidad con una forma de realización de la invención. La PD-LUT 600 puede ser, a modo de ejemplo, una PD-LUT generada por el generador de PD-LUT 560. Tal como se ilustra, la PD-LUT 600 puede incluir el índice de patrón (4), 912, y el ajuste (6), 0.03. La PD-LUT 600 puede comprender, además, por ejemplo, los índices de patrón 896 y 976 y sus respectivos ajustes, 0.06 y 0.04. Por último, la PD-LUT 600 puede comprender, además índices de patrón adicionales y sus respectivos ajustes según lo indicado por las elipses. Según se describió con anterioridad, pueden existir hasta 1,024 índices de patrón único.

20

La Figura 7 es un diagrama esquemático del compensador 420 en la red óptica 400 ilustrada en la Figura 4, de conformidad con una forma de realización de la invención. El compensador 420 puede comprender módulos, que incluyen un comparador de patrones 710, y un ajustador 720. Los componentes del compensador 420 pueden estar dispuestos según se muestra o de cualquier otra forma adecuada. Algunos de los componentes pueden incluir múltiples entradas y múltiples salidas que, a modo de ejemplo, pueden ejecutarse en paralelo; sin embargo, los componentes pueden simplificarse con el fin de facilitar su comprensión. El compensador 420 puede proporcionar, a la salida, un componente X_i , un componente X_Q , un componente Y_i y un componente Y_Q . El compensador 420 se describe más adelante con respecto a un componente arbitrario de la señal.

25

El comparador de patrones 710 puede recibir una entrada desde el DSP 215 del TX 210. La entrada desde el DSP 215 puede ser el resultado de técnicas conocidas de DSP aplicadas en, a modo de ejemplo, módulos de flujo ascendente del DSP 260. Tales módulos de flujo ascendente pueden comprender un troceador similar al troceador 520, de modo que la entrada del DSP 215 sea una señal dura. El comparador de patrones 710 puede comparar la señal dura con los niveles objeto de mapeado de correspondencia, que pueden estar basados en un sistema arbitrario. El sistema arbitrario puede tener la misma cantidad de niveles que el sistema de modulación, pero utiliza niveles diferentes. El comparador de patrones 710 puede convertir entonces la señal dura en una señal coincidente en función de la comparación. El comparador de patrones 710 puede calcular, además, un índice de patrón multiplicando el primer símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número del símbolo, multiplicando el segundo símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo, y así sucesivamente para cada símbolo y a continuación, sumando juntas las cantidades.

35

40

El ajustador 720 puede introducir una PD-LUT, a modo de ejemplo, la PD-LUT 600, desde el RX 240 en el primer transceptor 205, que el RX 240 puede haber recibido desde el TX 280 en el segundo transceptor 250. El ajustador 720 puede, entonces, buscar en la PD-LUT el índice de patrón calculado por el comparador de patrones 710, y luego determinar el ajuste en la PD-LUT que corresponde a ese índice de patrón. El ajustador 720 puede ajustar, entonces, el símbolo central de cada secuencia de la señal dura mediante el ajuste.

45

Es conocido que el hecho de calcular un ajuste del símbolo central en una secuencia de una señal, y luego compensar ese símbolo central, puede reducir las deficiencias. Sin embargo, si una secuencia tiene un número par de símbolos, entonces los dos símbolos del centro pueden ser compensados. De forma similar, los símbolos que no sean el símbolo central, o los símbolos se pueden compensar en otras aplicaciones.

50

A modo de ejemplo, el comparador de patrones 710 puede introducir la siguiente señal fija:

$$(-3, -3, -1, 1, 3). \quad (7)$$

55

El comparador de patrones 710 puede hacer coincidir la señal dura (7) con una señal coincidente sobre la base de los cuatro niveles objeto de mapeado de correspondencia, 0, 1, 2 y 3, con el fin de obtener la siguiente señal coincidente:

60

$$(0, 0, 1, 2, 3). \quad (8)$$

De la misma forma que se describe para el comparador de patrones 530, el comparador de patrones 710 puede calcular, además, el índice de patrón de la señal coincidente (8) de la forma siguiente:

$$(0 \times 4^0) + (0 \times 4^1) + (1 \times 4^2) + (2 \times 4^3) + (3 \times 4^4) = 912. \quad (9)$$

El ajustador 720 puede, entonces, buscar en la PD-LUT 600 el índice de patrón (9) y determinar un ajuste correspondiente para ese índice de patrón. Tal como se describió anteriormente, y según se ilustra en la Figura 6, 0.03 es el ajuste correspondiente al índice de patrón de 912. En consecuencia, el ajustador 720 puede ajustar el símbolo central de la señal dura (7) en 0.03 con el fin de obtener la siguiente señal ajustada:

$$(-3, -3, -0.97, 1, 3). \quad (10)$$

Por último, el ajustador 720 puede proporcionar la señal ajustada (10) al DSP 215. A modo de ejemplo, el ajustador 720 puede proporcionar la señal ajustada (10) a módulos de flujo descendente del DSP 215. Dichos módulos de flujo descendente pueden aplicar técnicas de DSP conocidas.

La Figura 8 es un diagrama de secuencia de mensaje que ilustra el sistema iterativo de calibración y compensación 800, de conformidad con una forma de realización de la invención. La red óptica 400 puede poner en práctica el sistema 800. Más concretamente, el primer transceptor 205, y el segundo transceptor 250, pueden poner en práctica el sistema 800, aunque pueden aplicarse los mismos principios entre cualquier transmisor y receptor adecuados.

En la etapa 805, el primer transceptor 205 puede transmitir una primera señal al segundo transceptor 250. En la etapa 810, el segundo transceptor 250 puede realizar una primera calibración, a modo de ejemplo, en el calibrador 410, para generar una PD-LUT, por ejemplo, la PD-LUT 600. El calibrador 410 puede realizar la primera calibración sobre la base de la primera señal. En la etapa 815, el segundo transceptor 250 puede transmitir la PD-LUT 600 al primer transceptor 205. En la etapa 820, el primer transceptor 205 puede realizar una primera compensación, por ejemplo, en el compensador 420. A modo de ejemplo, el compensador 420 puede compensar las transmisiones posteriores aplicando a dichas transmisiones los ajustes en la PD-LUT 600. Las etapas 805 a 820 pueden comprender una primera iteración de calibración y compensación.

La primera iteración puede, sin embargo, no compensar completamente las señales que transmite el primer transceptor 205. El sistema 800 puede, por lo tanto, comprender iteraciones adicionales de calibración y compensación. Por consiguiente, en la etapa 825, el primer transceptor 205 puede transmitir una segunda señal al segundo transceptor 250. La segunda señal se puede compensar sobre la base de la PD-LUT 600. En la etapa 830, el calibrador 410 puede realizar una segunda calibración para generar una PD-LUT Δ_2 . La PD-LUT Δ_2 puede proporcionar ajustes que se añadirán a los ajustes de la PD-LUT 600 para formar una nueva PD-LUT₂. A modo de ejemplo, para un índice de patrón de 912, la PD-LUT Δ_2 puede proporcionar un ajuste de 0.005 para su adición al ajuste de 0.03 en la PD-LUT 600 con el fin de formar una nueva PD-LUT₂ con un ajuste de 0.035 para un índice de patrón de 912. El calibrador 410 puede realizar la segunda calibración de la misma forma que realizó la primera calibración, con la excepción de que el calibrador puede hacerlo en base a la segunda señal. En la etapa 835, el segundo transceptor 250 puede transmitir la PD-LUT₂ al primer transceptor 205. En la etapa 840, el compensador 420 puede realizar una segunda compensación. A modo de ejemplo, el compensador 420 puede compensar las posteriores transmisiones aplicando a dichas transmisiones los ajustes en la PD-LUT₂. Las etapas 825 a 840 pueden comprender una segunda iteración de calibración y compensación.

El sistema 800 puede incluir similares iteraciones de calibración y compensación adicionales hasta una i-ésima iteración en las etapas 845 a 860. La letra i puede ser cualquier número entero positivo. Cada iteración sucesiva puede proporcionar una granularidad de compensación más fina. El primer transceptor 205, el segundo transceptor 250 u otro componente, pueden demandar una primera o posterior iteración.

La Figura 9 es un gráfico 900 de una BER modelada para la red óptica 400 en la Figura 4. Tal como se ilustra, el eje x representa las iteraciones de calibración y compensación como constantes, y el eje y representa la BER como constantes o unidades arbitrarias. La de no linealidad del RFA 225 se puede modelar utilizando el modelo Rapp, que es bien conocido en la técnica y se describe en muchas fuentes, incluyendo en el documento de John Liebetreu, et al., titulado: "Modelos de Degradaciones del Sistema Propuesto," IEEE 802.16 Grupo de Trabajo de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha, 8 de marzo de 2000. El gráfico 900 muestra BERs para una longitud de patrón de cinco y para diferentes tensiones de saturación, que se representan como V_S y se describen en Rapp. V_S puede ser inversamente proporcional a la de no linealidad del RFA 225. La línea continua puede representar un RFA lineal 225.

Como puede observarse, la BER puede disminuir para cada iteración sucesiva, aunque la mejora puede comenzar a nivelarse alrededor de tres iteraciones. Un V_S de 0.75 voltios (V) produce una BER relativamente baja, mientras que valores de V_S más bajos producen una BERs relativamente más alta. Las iteraciones sucesivas pueden no

compensar completamente la de no linealidad, en particular, para los valores de V_S más bajos. Dicha incapacidad para compensar puede deberse a la longitud relativamente corta del patrón de cinco, que se utiliza en este ejemplo, lo que puede no compensar, completamente, los efectos del patrón.

5 La Figura 10 es otro gráfico 1000 de una BER modelada para la red óptica 400 de la Figura 4. Tal como se ilustra, el eje x representa las iteraciones de calibración y compensación como constantes, y el eje y representa la BER como constantes o unidades arbitrarias. De nuevo, se puede utilizar el modelo Rapp. Sin embargo, en comparación con el gráfico 900, el gráfico 1000 ilustra BERs para un V_S de 0.5 V, una dispersión de pre-compensación en el DSP 215 de 300 picosegundos (ps)/nanómetro (nm), una dispersión de post-compensación en el DSP 260 de -300 ps/nm, y diferentes longitudes de patrón, que se representan como PL. Una vez más, la línea continua puede representar un RFA lineal 225.

15 Según puede observarse, una mayor longitud del patrón proporciona una relación BER más baja, en particular, después de sucesivas iteraciones. Una vez más, sin embargo, la mejora de BER puede comenzar a nivelarse alrededor de tres iteraciones. Una longitud de patrón de nueve puede compensar, casi por completo, los efectos del patrón debido a una combinación de dispersión de pre-compensación y RFA de no linealidad 225.

20 La Figura 11 es un gráfico 1100 de una constelación de símbolo experimental para la red óptica 400 ilustrada en la Figura 4. La Figura 12 es otro gráfico 1200 de una constelación de símbolo experimental para la red óptica 400 de la Figura 4. El gráfico 1100 se muestra antes de aplicar la calibración y la compensación dadas a conocer, y el gráfico 1200 se muestra después de aplicar la calibración y la compensación descritas. Según se ilustra, para el gráfico 1100 y para el gráfico 1200, tanto el eje x como el eje y, representan constantes o unidades arbitrarias. El gráfico 1100 y el gráfico 1200 se obtienen, de forma experimental, en función de lo siguiente:

25 transmisión multiplexada por polarización de 16-QAM (PM-16QAM);

transmisión de 36 gigabaudios (Gbaudios);

30 un modulador multiplexado por polarización I y Q (PM-IQ);

señales de activación para los moduladores generados eléctricamente a partir de convertidores DACs de alta velocidad, de ocho bits, cuatro canales, con tasas de muestreo de hasta 65 Gbaudios;

35 una secuencia binaria pseudoaleatoria de $2^{15}-1$ (PRBS);

formación de pulsos de Nyquist RRC con un factor de reducción de 0,1;

detección de la señal por un detector coherente polarizado, diversificado;

40 registro de la señal utilizando un osciloscopio de muestreo digital en tiempo real (DSO) de 50 Gbaudios de Tektronix, con un ancho de banda eléctrico de 20 gigahercios (GHz); y

procesamiento de señal utilizando un paquete de código de DSP fuera de línea que comprende un FDEQ, un TDEQ y un módulo CR.

45 Tal como puede observarse, los símbolos en el gráfico 1100 se agrupan juntos en 16 círculos, pero los círculos no están claramente definidos. Sin embargo, en el gráfico 1200, los 16 círculos están más definidos, son compactos y están espaciados por igual. Dicho de otro modo, los símbolos están más estrictamente alineados con la rejilla PM-16QAM. La BER experimental en la Figura 11 es $1.67e^{-4}$, mientras que la BER experimental en la Figura 12 es $6.3e^{-5}$, mostrando, de este modo, una importante mejora en la BER.

55 La Figura 13 es un gráfico 1300 de una OSNR experimental frente a una BER para la red óptica 400 en la Figura 4. Según se muestra, el eje x representa OSNR en decibelios (dB), y el eje y representa BER en constantes o unidades arbitrarias. El gráfico 1300 está basado en un V_G de 2 V, en donde V_G es una tensión relacionada con el RFA 225. El gráfico 1300 ilustra una OSNR frente a BER antes de aplicar la calibración y compensación dadas a conocer, y después de aplicar la calibración y compensación descritas. Tal como puede observarse, la calibración y la compensación descritas pueden disminuir, de forma significativa, la BER, en particular, a medida que aumenta la OSNR.

60 La Figura 14 es un gráfico 1400 de longitud de patrón experimental frente a BER para la red óptica 400 que se ilustra en la Figura 4. Según se muestra, el eje x representa la longitud del patrón en constantes o unidades arbitrarias, y el eje y representa BER en constantes o unidades arbitrarias. El gráfico 1400 se basa en una única iteración de calibración y compensación. Tal como puede observarse, la BER puede disminuir, de forma significativa, a medida que aumenta la longitud del patrón, aunque la mejora puede comenzar a nivelarse alrededor de una

longitud del patrón de cuatro a cinco. La BER puede comenzar a disminuir a medida que aumenta la longitud del patrón más allá de siete.

La Figura 15 es un diagrama de flujo que ilustra un método 1500 de compensación de degradación del transmisor de conformidad con una forma de realización de la invención. El método 1500 se puede poner en práctica en el primer transceptor 205, a modo de ejemplo, en el TX 210. En la etapa 1510, puede transmitirse una primera señal óptica. En la etapa 1520, se puede recibir una primera compensación. Por ejemplo, el TX 210 puede recibir la PD-LUT 600 desde el segundo transceptor 250, por ejemplo, desde el RX 255. La primera compensación puede estar basada en un análisis dependiente del patrón de la primera señal óptica. En la etapa 1530, una segunda señal óptica puede compensarse basándose en la primera compensación, con el fin de formar una primera señal óptica compensada. A modo de ejemplo, el compensador 420 puede compensar la segunda señal óptica sobre la base de la PD-LUT 600. En la etapa 1540, se puede transmitir la primera señal óptica compensada.

Se da a conocer al menos una forma de realización y las variaciones, combinaciones y/o modificaciones de las formas de realización y/o características de las formas de realización que se realizan por expertos en la técnica caen dentro del alcance de la presente invención. Las formas de realización alternativas que resultan de la combinación, integración y/u omisión de características de las formas de realización también están dentro del alcance de la invención. Cuando se especifican, de forma expresa, los márgenes o limitaciones numéricas, se puede entender que dichos márgenes o limitaciones expresas incluyen márgenes o limitaciones iterativas de magnitud similar que caen dentro de los márgenes o limitaciones que se dan a conocer expresamente (p.ej., de aproximadamente 1 a aproximadamente 10 incluye, 2, 3, 4, etc.; más de 0.10 incluye 0.11, 0.12, 0.13, etc.). A modo de ejemplo, cada vez que se da a conocer un margen numérico con un límite inferior, R_l , y un límite superior, R_u , se describe concretamente cualquier número que se encuentre dentro del margen. En particular, los siguientes números dentro del margen se describen de forma específica: $R = R_l + k * (R_u - R_l)$, en donde k es una variable que varía desde el 1 por ciento al 100 por ciento con un incremento de 1 por ciento, es decir, k es 1 por ciento, 2 por ciento, 3 por ciento, 4 por ciento, 5 por ciento, ..., 50 por ciento, 51 por ciento, 52 por ciento, ..., 95 por ciento, 96 por ciento, 97 por ciento, 98 por ciento, 99 por ciento, o 100 por ciento. Además, cualquier margen numérico definido por dos números R , tal como se definió anteriormente, se describe, además, específicamente. El uso del término "aproximadamente" significa +/- 10 % del número posterior, a menos que se indique lo contrario. El uso del término "opcionalmente" con respecto a cualquier elemento de una reivindicación significa que el elemento es requerido o, de forma alternativa, el elemento no es requerido, puesto que ambas alternativas están dentro del alcance de la reivindicación. El uso de términos más amplios, tales como comprende, incluye, y teniendo, se puede entender como que proporciona soporte para términos más estrechos, tales como consiste en, consiste esencialmente en, y comprende prácticamente. En consecuencia, el alcance de protección no está limitado por la descripción expuesta anteriormente, sino que se define por las siguientes reivindicaciones, que incluyen todos los equivalentes de la materia objeto de las reivindicaciones. Todas y cada una de las reivindicaciones se incorporan como una idea inventiva adicional en la memoria descriptiva y las reivindicaciones son formas de realización de la presente invención. La discusión de una referencia en la invención no es una admisión de que es técnica anterior, en especial, cualquier referencia que tenga una fecha de publicación posterior a la fecha de prioridad de esta solicitud.

Si bien se han proporcionado varias formas de realización en la presente invención, puede entenderse que los sistemas y métodos dados a conocer pueden realizarse de muchas otras formas específicas sin desviarse del alcance de la presente invención. Los ejemplos actuales deben considerarse como ilustrativos y no restrictivos, y la intención no debe limitarse a los detalles que aquí se proporcionan. A modo de ejemplo, los diversos elementos o componentes pueden combinarse o integrarse en otro sistema, o algunas características se pueden omitir o no ponerse en práctica.

Además, técnicas, sistemas, subsistemas y métodos, descritos e ilustrados en las diversas formas de realización, como discretos o separados se pueden combinar o integrarse con otros sistemas, módulos, técnicas o métodos sin desviarse del alcance de la presente invención. Otros elementos ilustrados o descritos como acoplados, o directamente acoplados, o comunicándose entre sí, pueden acoplarse indirectamente o comunicarse a través de alguna interfaz, dispositivo o componente intermedio, ya sea de forma eléctrica, mecánica o de otro tipo. Otros ejemplos de cambios, sustituciones y modificaciones son determinables por un experto en esta técnica y pueden realizarse sin desviarse del alcance aquí dado a conocer.

REIVINDICACIONES

1. Un transceptor óptico (205) que comprende:

5 un transmisor (210) configurado para transmitir una primera señal que incluye una primera secuencia que comprende n símbolos a un receptor (255), de un transceptor óptico adicional (250), siendo n un número entero positivo, y

un receptor (240) acoplado al transmisor (210) y configurado para:

10 recibir una primera compensación desde de un transmisor (280) del transceptor óptico adicional (250), en donde la primera compensación está basada en un análisis dependiente del patrón de la primera señal; y

proporcionar la primera compensación al transmisor (210),

15 en donde el transmisor (210) está configurado, además, para:

compensar una segunda señal basada en la primera compensación para formar una primera señal compensada, y

20 transmitir la primera señal compensada al receptor (255) del transceptor óptico adicional (250), en donde la primera compensación es una primera tabla de consulta dependiente del patrón, PD-LUT, en donde la primera PD-LUT comprende un primer índice de patrón y un primer ajuste correspondiente al primer índice de patrón, en donde el primer índice de patrón se calcula multiplicando el primer símbolo en la primera secuencia de la primera señal por un número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número del símbolo, multiplicando el segundo símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo y, además, para cada uno de los n símbolos de la primera secuencia, la adición, a continuación, de las cantidades juntas.

2. El transceptor óptico (205) según la reivindicación 1, en donde el transmisor (210) está configurado, además, para compensar la segunda señal aplicando el ajuste a un símbolo central de una secuencia de la segunda señal.

3. El transceptor óptico (205) según la reivindicación 2, en donde el receptor (240) está configurado, además, para:

35 recibir una segunda compensación desde el transmisor (280) del transceptor óptico adicional (250), en donde la segunda compensación está basada en un análisis dependiente del patrón de la primera señal compensada; y

proporcionar la segunda compensación al transmisor (210),

40 en donde la segunda compensación es una segunda tabla de consulta dependiente del patrón, PD-LUT, en donde la segunda PD-LUT comprende un segundo índice de patrón y un segundo ajuste que corresponde al segundo índice de patrón, en donde el segundo índice de patrón se calcula multiplicando el primer símbolo en la primera secuencia de la primera señal por un número de niveles coincidentes elevado a la potencia del número del símbolo, multiplicando el segundo símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevado a la potencia del número de símbolo y, además, para cada uno de los n símbolos de la primera secuencia, la adición, a continuación, de las cantidades juntas.

4. El transceptor óptico (205) según la reivindicación 3, en donde el transmisor (210) está configurado, además, para:

50 compensar una tercera señal basada en la segunda compensación con el fin de formar una segunda señal compensada; y

transmitir la segunda señal compensada al receptor (225) del transceptor óptico adicional (250).

5. El transceptor óptico (205) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, comprendiendo el transmisor (210):

un procesador de señal digital, DSP, que comprende un compensador (420) configurado para compensar la segunda señal para formar la primera señal compensada;

60 un convertidor de digital a analógico, DAC, acoplado al DSP;

un amplificador de radiofrecuencia, RFA, acoplado al DAC; y

65 un convertidor eléctrico a óptico, EOC, acoplado al RFA.

6. El transceptor óptico (205) según la reivindicación 5, en donde el compensador (420) comprende:
- 5 un comparador de patrones (710) configurado para recibir una entrada del DSP, y para calcular el primer índice; y
- un ajustador (720) acoplado al comparador de patrones (710), y configurado para buscar en la primera tabla PD-LUT el primer índice de patrón calculado por el comparador de patrones (710), con el fin de determinar el primer ajuste en la primera PD-LUT que corresponde al primer índice de patrón, y para ajustar al menos un símbolo de la secuencia.
- 10 7. El transceptor óptico (205) según la reivindicación 6, en donde el compensador (420) está configurado para compensar una señal basada en una compensación calculada fuera del transmisor óptico.
8. Un transceptor óptico (250) que comprende:
- 15 un receptor (255) configurado para:
- recibir una primera señal que incluye una primera secuencia que comprende n símbolos, desde de un transmisor (210) de un transceptor óptico adicional (205), siendo n un número entero positivo;
- 20 generar una primera compensación en un análisis dependiente del patrón de la primera señal, en donde la primera compensación es una primera tabla de consulta dependiente del patrón, PD-LUT, que comprende un primer índice de patrón y un primer ajuste que corresponde al primer índice de patrón, en donde el primer índice de patrón se calcula multiplicando el primer símbolo en la primera secuencia de la primera señal por un número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número del símbolo, multiplicando el segundo símbolo en la primera
- 25 secuencia de la señal por un número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo y, además, para cada uno de los n símbolos de la primera secuencia, la adición, a continuación, de las cantidades juntas;
- proporcionar la primera compensación a un transmisor (280) acoplado al receptor (255), estando el transmisor (280)
- 30 configurado para:
- transmitir la primera compensación a un receptor (240) del transceptor óptico adicional (205).
9. El transceptor óptico (250) según la reivindicación 8, comprendiendo el receptor (255):
- 35 un convertidor óptico a eléctrico, OEC;
- un convertidor analógico a digital, ADC, acoplado al OEC; y
- 40 un procesador de señal digital, DSP, acoplado al ADC y que comprende un calibrador.
10. El transceptor óptico según la reivindicación 9, en donde el calibrador comprende un generador de tabla de consulta dependiente del patrón, PD-LUT (560).
- 45 11. El transceptor óptico según la reivindicación 10, en donde el calibrador comprende, además:
- un módulo de ecualizador de dominio temporal, TDEQ, de entrada múltiple y salida múltiple, MIMO y de recuperación de portadora, CR;
- 50 un troceador (520) acoplado al módulo TDEQ MIMO y CR, y configurado para recibir una señal suave del módulo TDEQ MIMO y CR, y para convertir la señal suave en una señal dura, en donde la señal suave se refiere a la señal realmente recibida, y la señal dura se refiere a una señal con símbolos correspondientes a los niveles discretos del sistema de modulación;
- 55 un comparador de patrón (530) acoplado al troceador (520) configurado para recibir la señal dura desde el troceador (520), y para calcular el primer índice de patrón basado en la señal dura;
- un calculador de promedio (540) acoplado al comparador de patrones (530), configurado para calcular un promedio de al menos un símbolo de cada secuencia de la señal suave; y
- 60 un calculador de ajuste (550) acoplado al calculador de promedio (540), y al generador de PD-LUT (560), y configurado para sustraer el promedio desde el símbolo correspondiente de la señal fija para obtener el primer ajuste, en donde el generador de PD-LUT (560) está configurado para generar una primera PD-LUT basada en una primera señal generada fuera del receptor óptico, en donde el generador de PD-LUT (560) está configurado para

generar una PD-LUT Δ , basada en una segunda señal generada fuera del receptor óptico, en donde Δ representa un incremento a la primera PD-LUT, y en donde la segunda señal se compensa en función de la primera PD-LUT.

12. Un método que comprende:

5 la transmisión, por un transmisor (210) de un primer transceptor (205), de una primera señal óptica que incluye una primera secuencia que comprende n símbolos a un receptor (255) de un segundo transceptor (250);

10 la recepción, por un receptor (240) del primer transceptor (205), de una primera compensación desde un transmisor (280) del segundo transceptor (250), en donde la primera compensación está basada en un análisis dependiente del patrón de la primera señal óptica, y en donde la primera compensación es una primera tabla de consulta dependiente del patrón, PD-LUT, que comprende un primer índice de patrón y un primer ajuste correspondiente al primer índice de patrón, en donde el índice de patrón se calcula multiplicando el primer símbolo en la primera secuencia de la primera señal por un número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo, multiplicando el segundo símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo y, además, para cada uno de los n símbolos de la primera secuencia, la adición, a continuación, de las cantidades juntas,

20 proporcionar, por el receptor (240) del primer transceptor (205), la primera compensación al transmisor (210) del primer transceptor (205);

la compensación, por el transmisor (210) del primer transceptor (205), de una segunda señal óptica basada en la primera compensación con el fin de formar una primera señal óptica compensada; y

25 la transmisión, por el transmisor (210) del primer transceptor (205), de la primera señal óptica compensada al receptor (255) del segundo transceptor (255).

13. El método según la reivindicación 12, que comprende, además:

30 la recepción, por el receptor (240) del primer transceptor (205), de una segunda compensación desde de un transmisor (280) del segundo transceptor (250), en donde la segunda compensación está basada en un análisis dependiente del patrón de la primera señal compensada; y

35 la compensación, por el receptor (255) del primer transceptor (255), de una tercera señal basada en la segunda compensación con el fin de formar una segunda señal compensada; y

la transmisión, por el transmisor (210) del primer transceptor (205), de la segunda señal compensada al receptor (255) del segundo transceptor (250).

40 **14.** El método según la reivindicación 13, en donde la segunda compensación es una segunda tabla PD-LUT que comprende un segundo índice de patrón y un segundo ajuste que corresponde al segundo índice de patrón, en donde el segundo índice de patrón se calcula multiplicando el primer símbolo en la primera secuencia de la primera señal por un número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo, multiplicando el segundo símbolo en la primera secuencia de la señal por el número de niveles coincidentes elevados a la potencia del número de símbolo y, además, para cada uno de los n símbolos de la primera secuencia, la adición, a continuación, de las cantidades juntas.

45

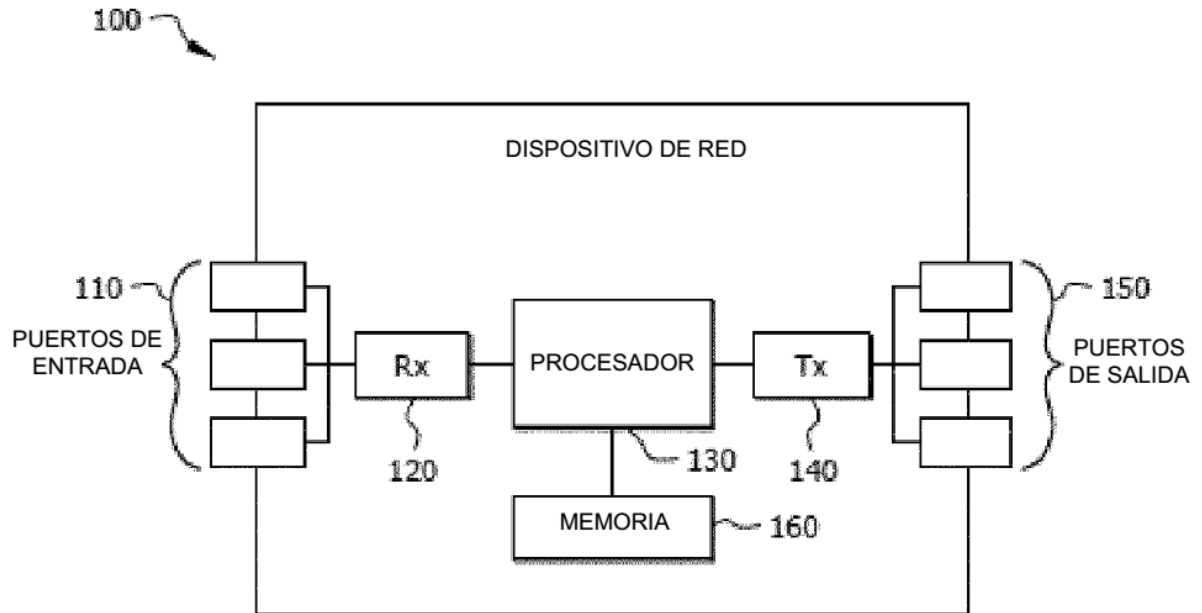


FIG. 1

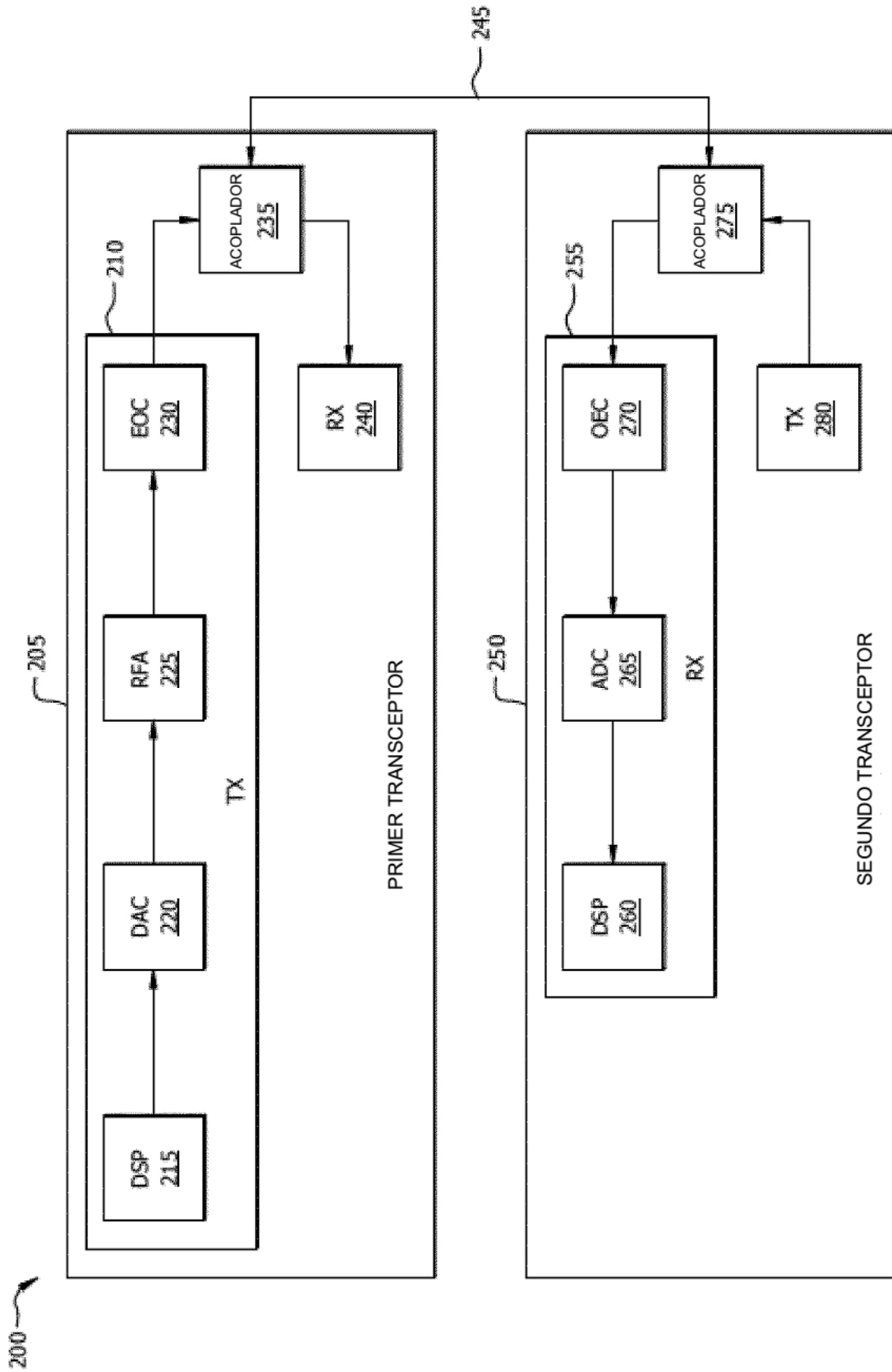


FIG. 2

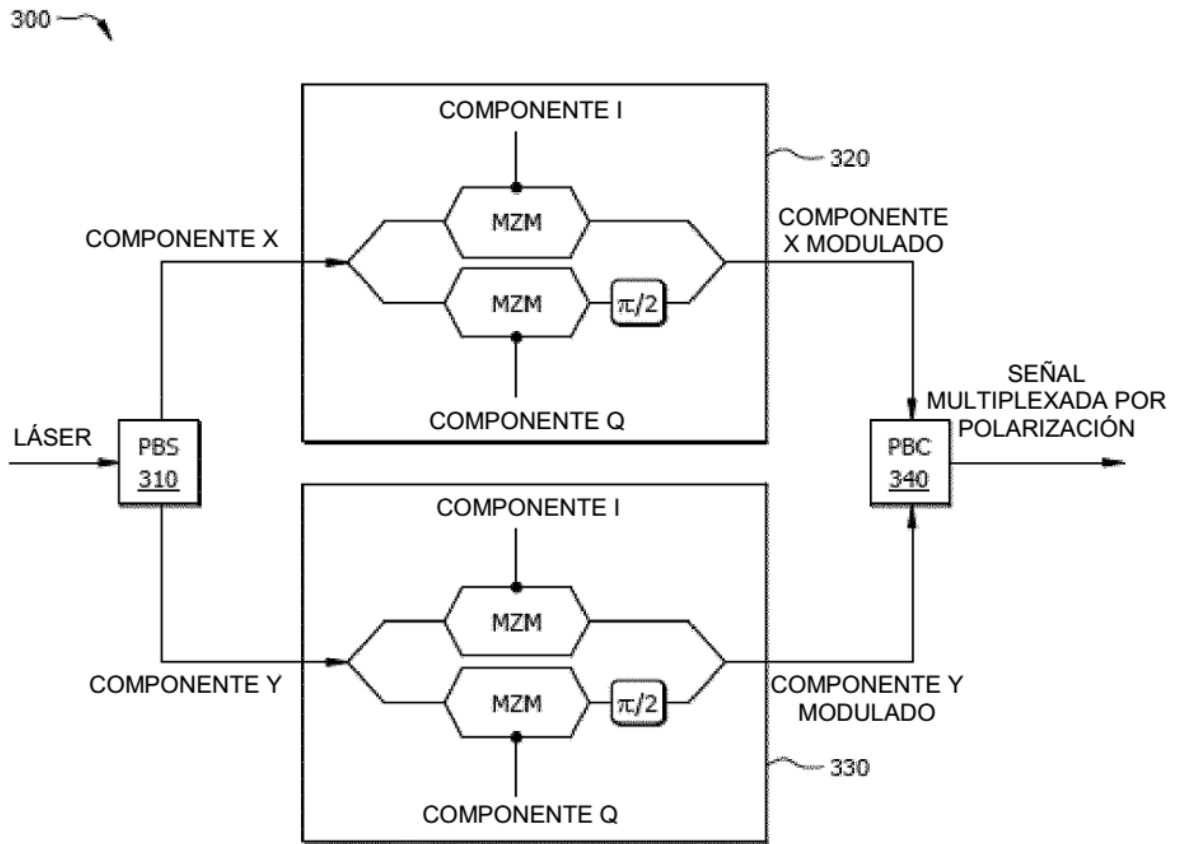


FIG. 3

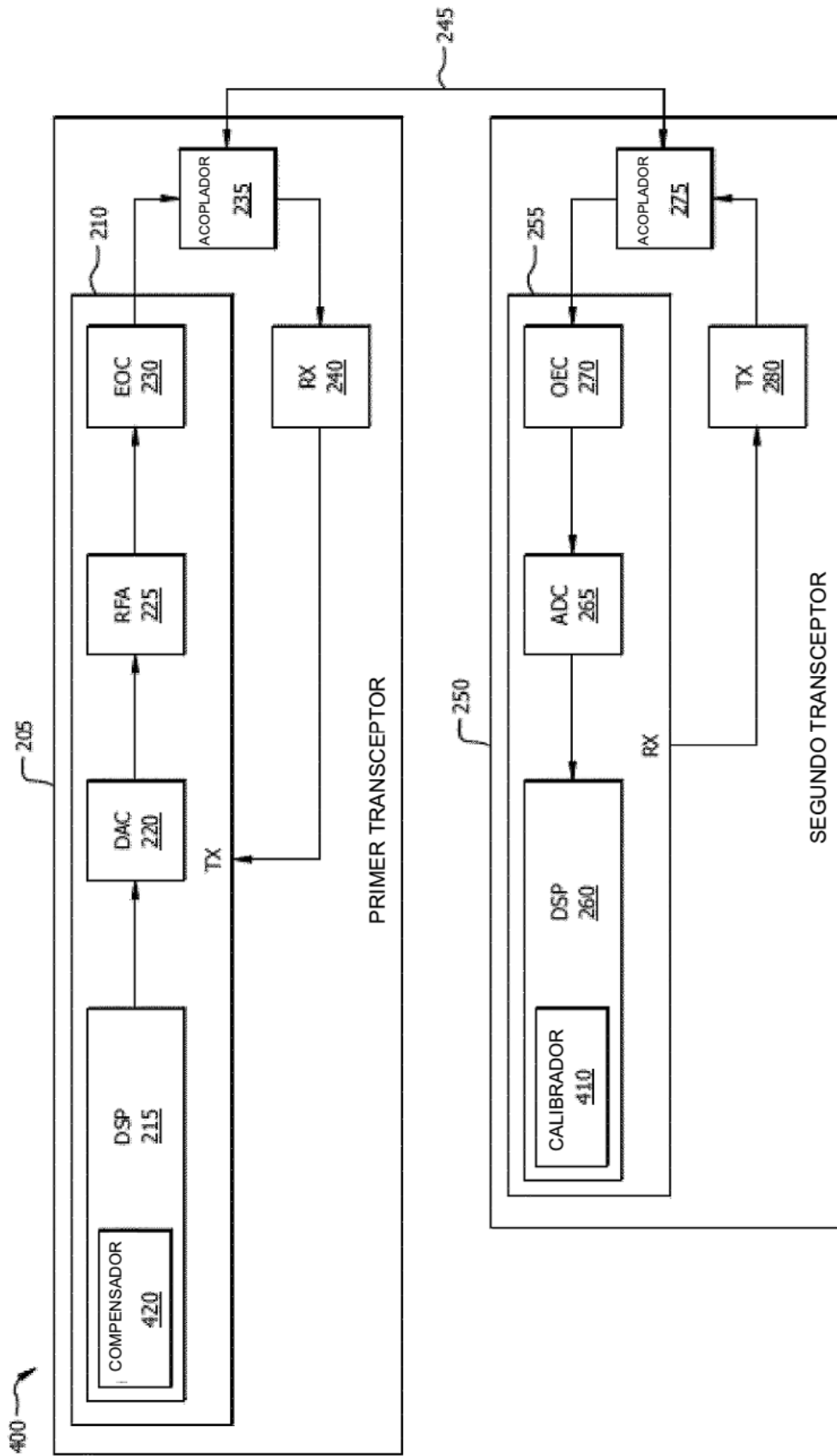


FIG. 4

410

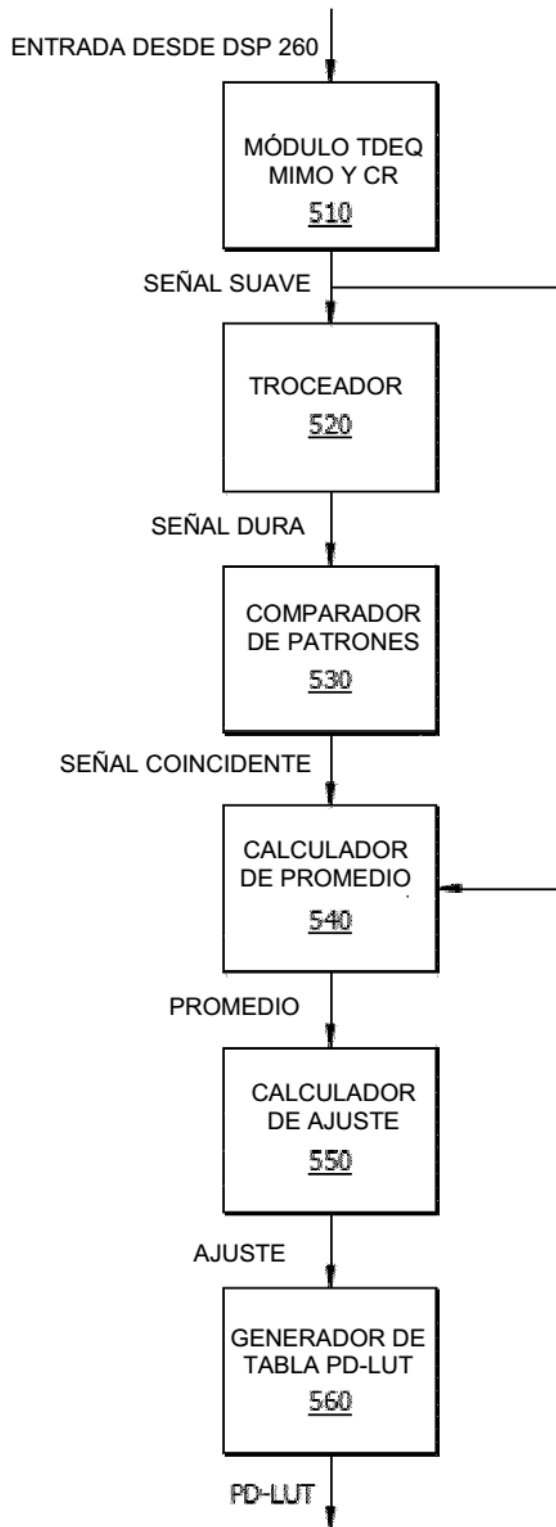


FIG. 5

600 ↗

ÍNDICE DE PATRÓN	AJUSTE
•	•
•	•
•	•
896	0.06
•	•
•	•
912	0.03
•	•
•	•
976	0.04
•	•
•	•

FIG. 6

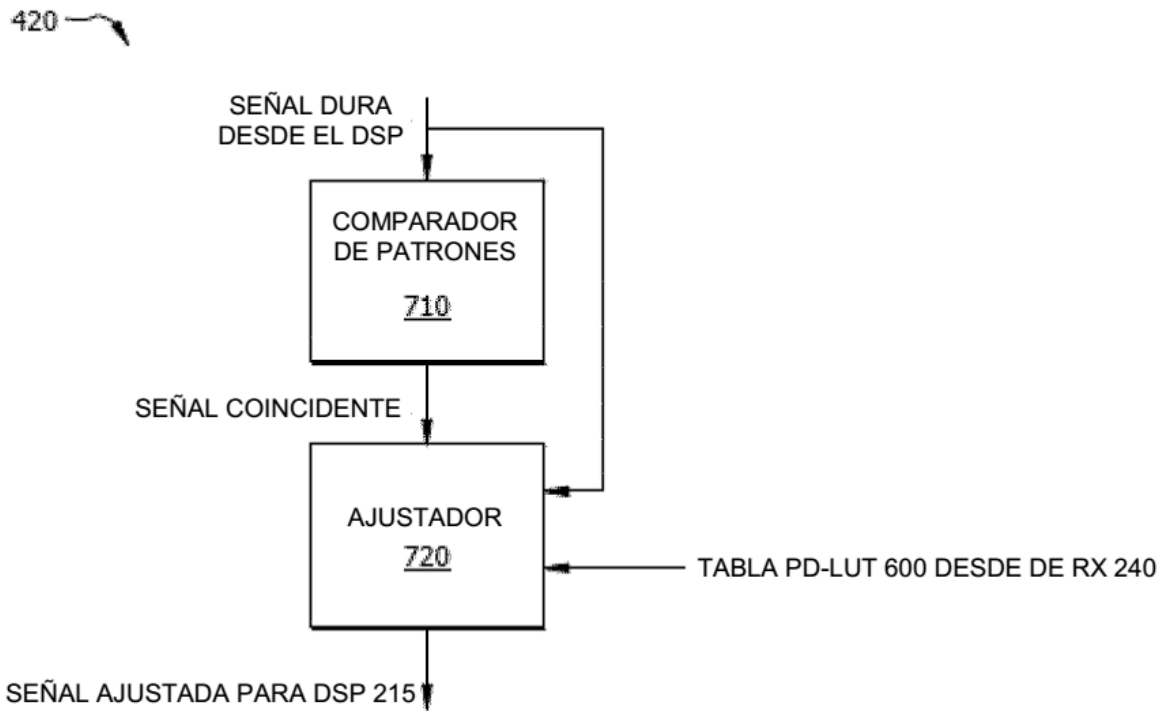


FIG. 7

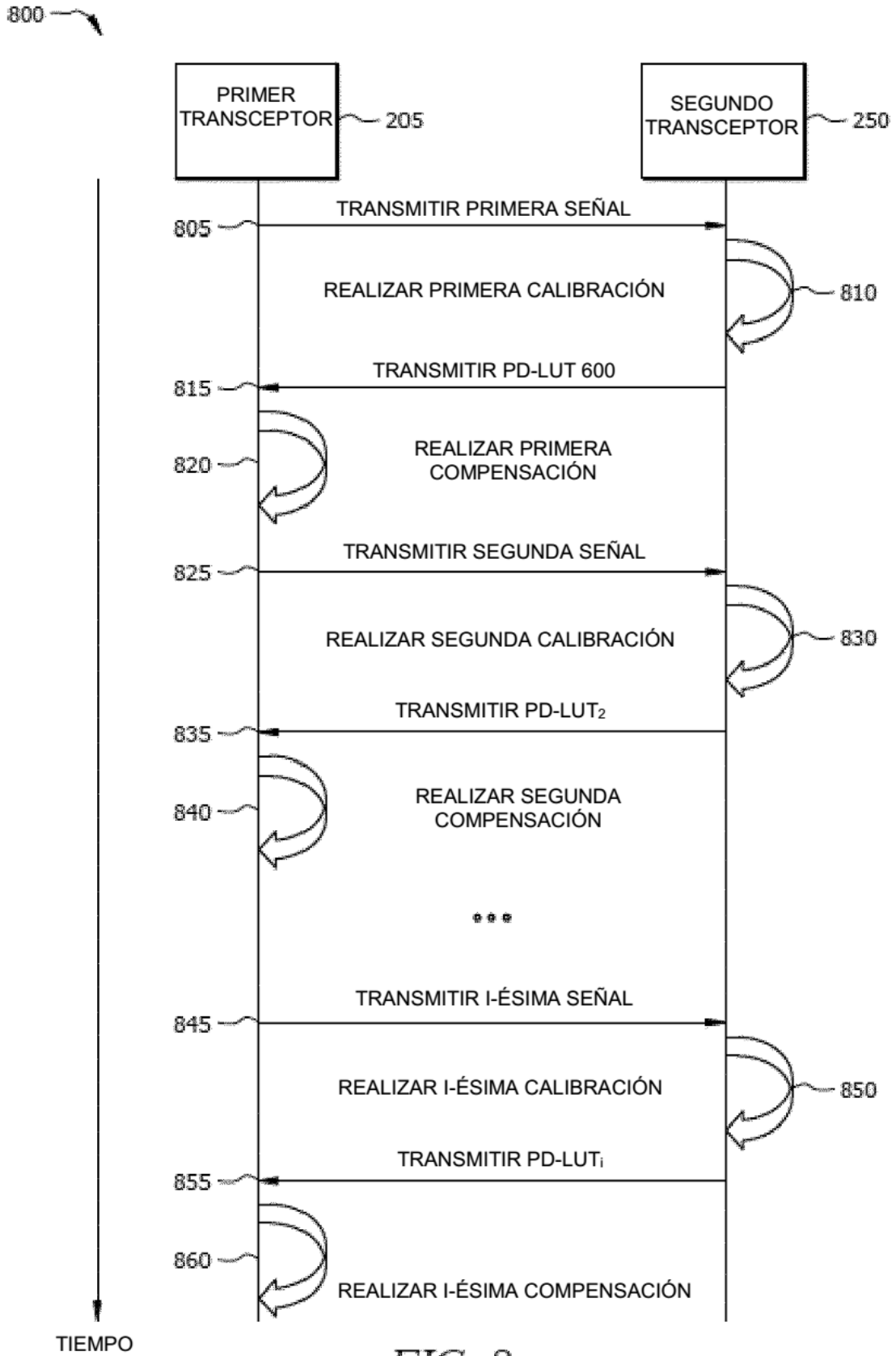


FIG. 8

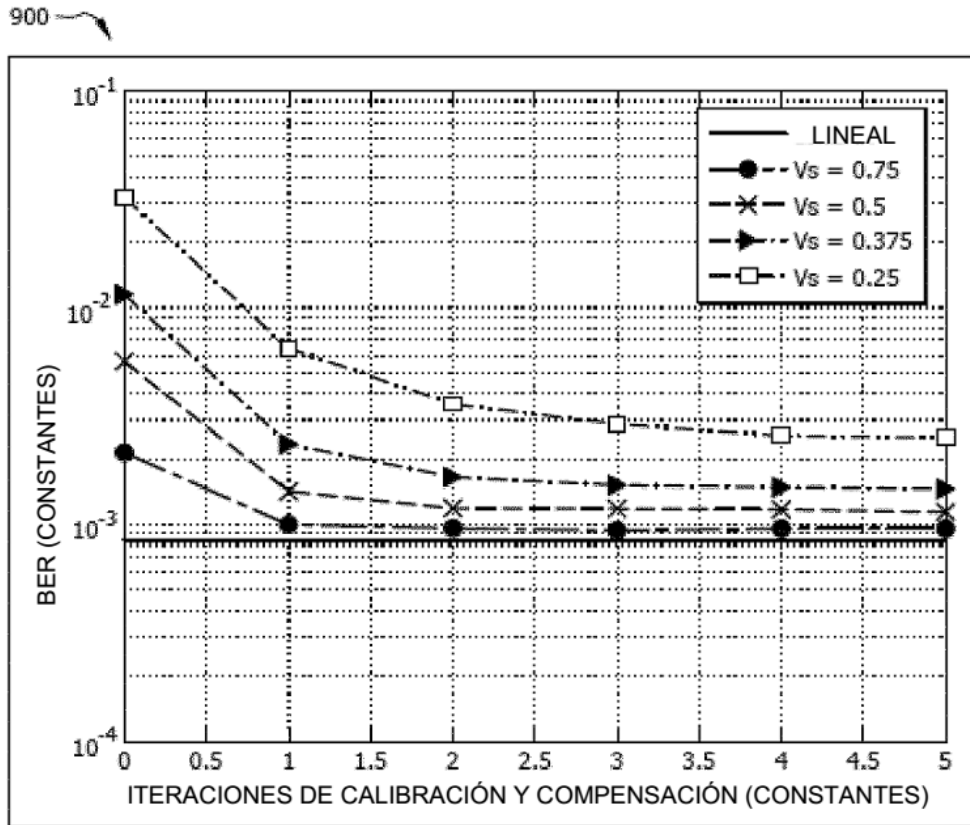


FIG. 9

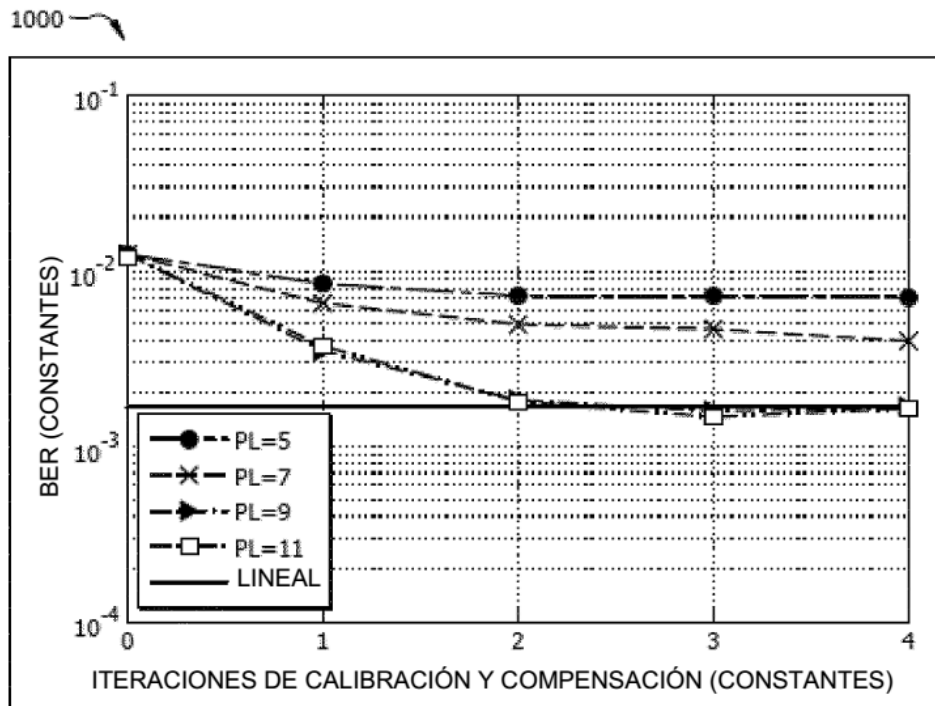


FIG. 10

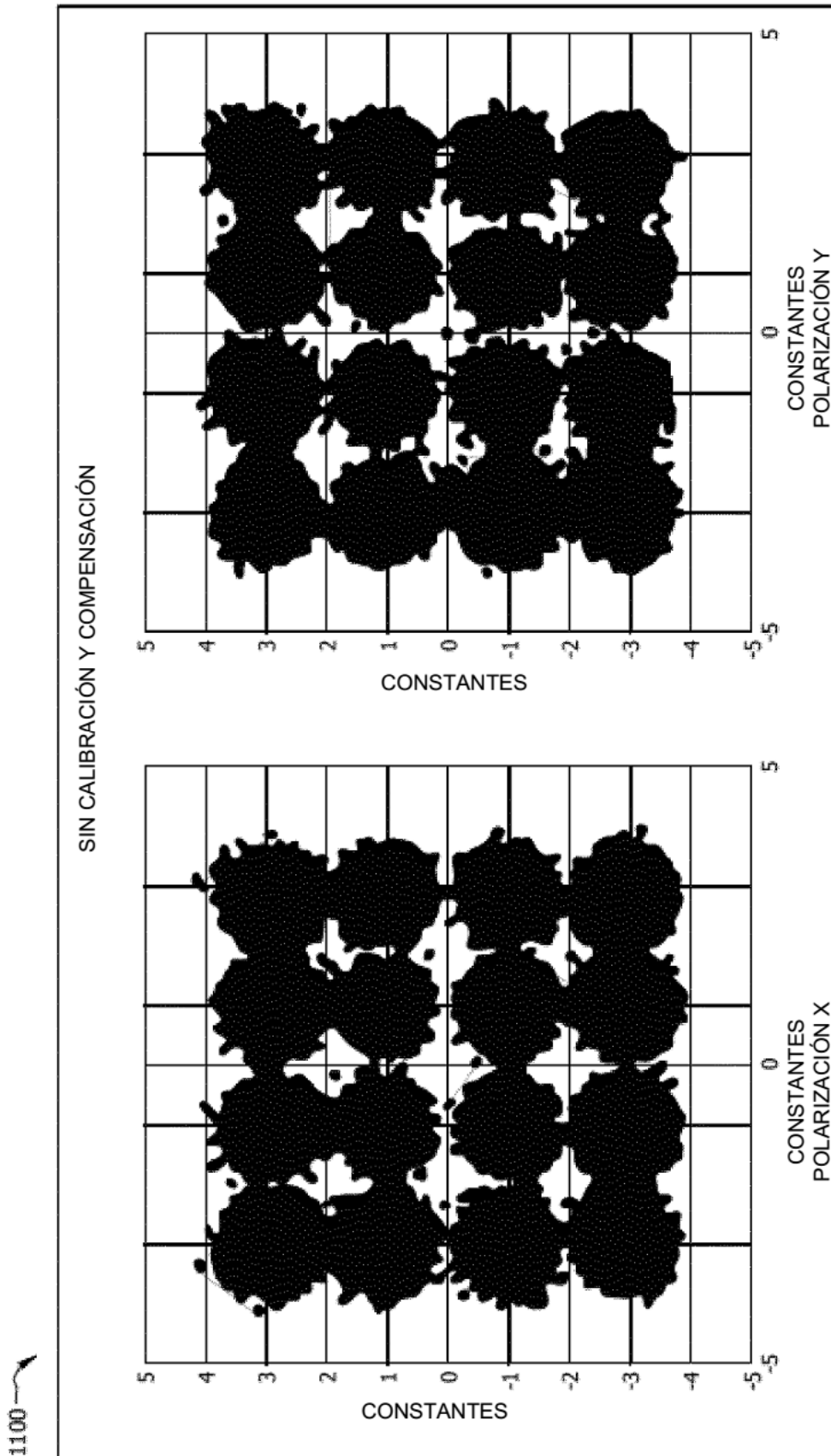


FIG. II

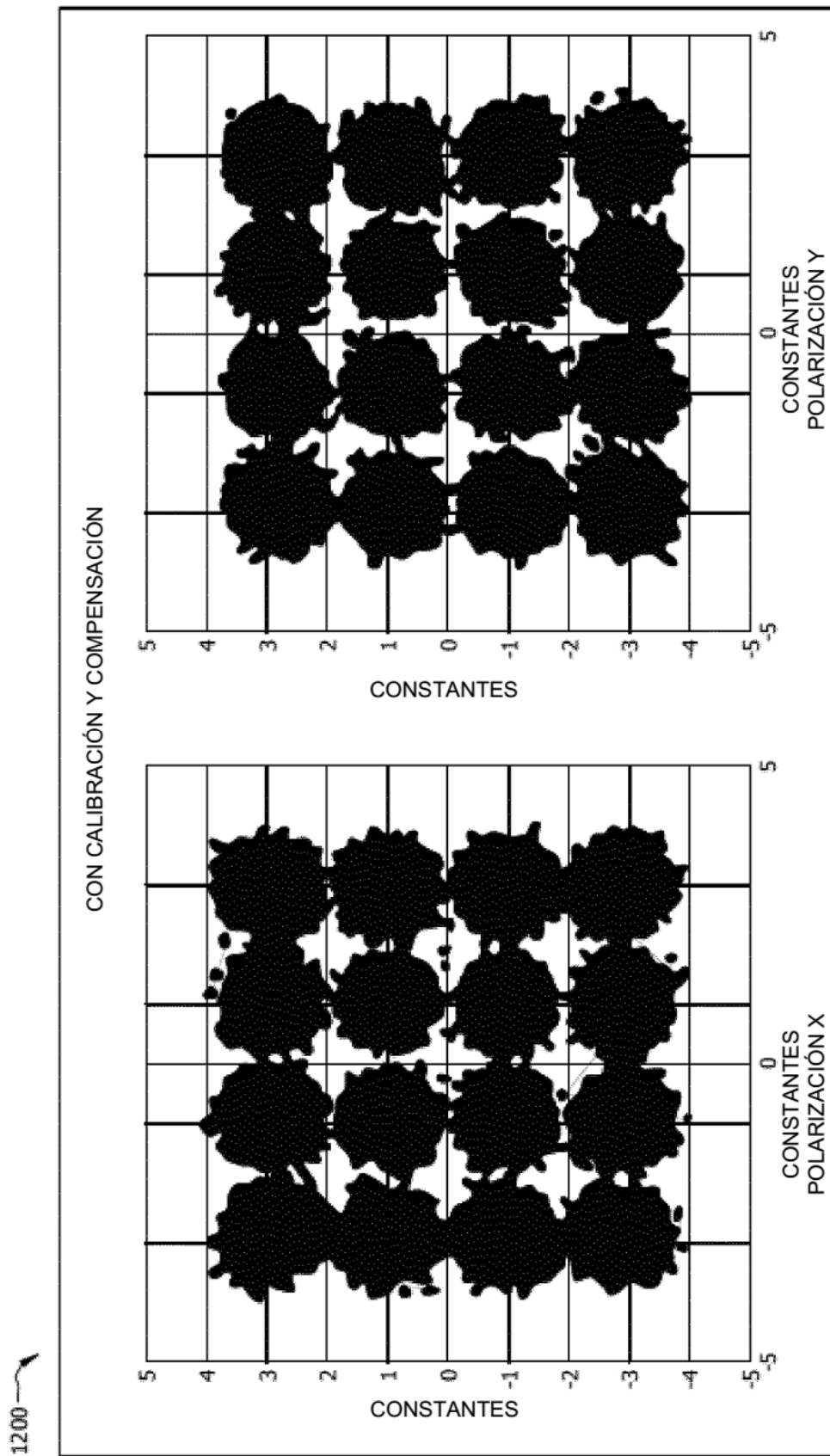


FIG. 12

1300 ↗

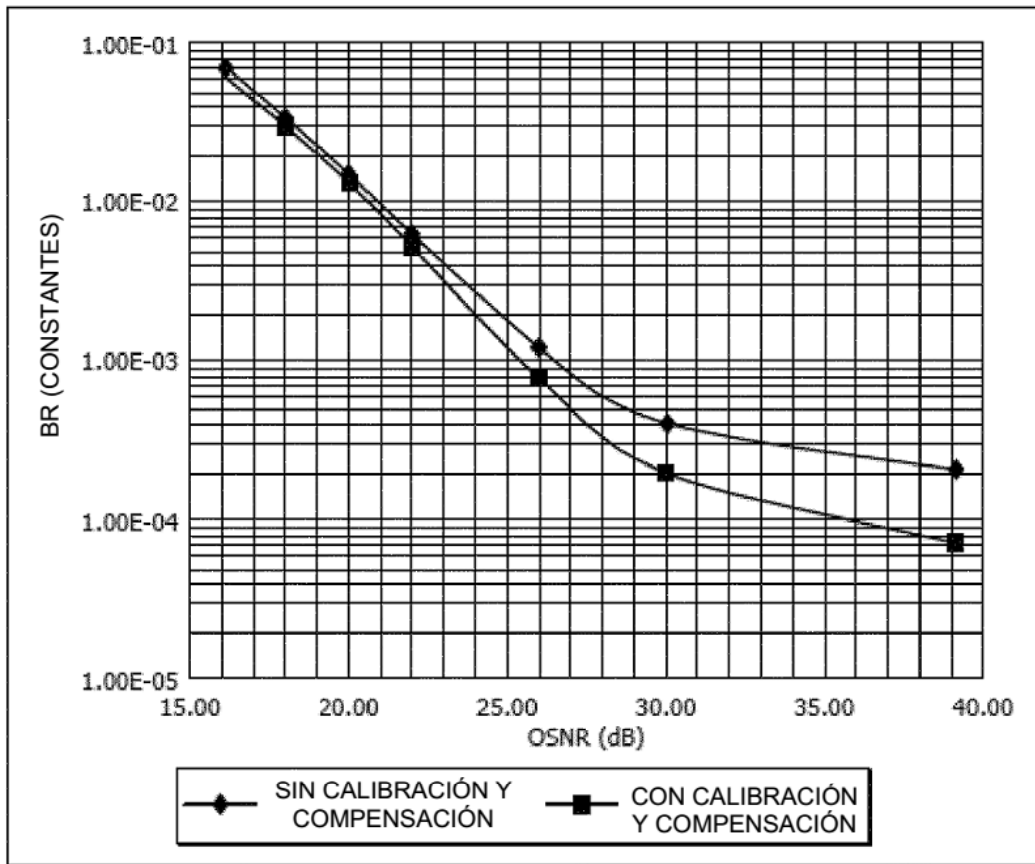


FIG. 13

1400 ↗

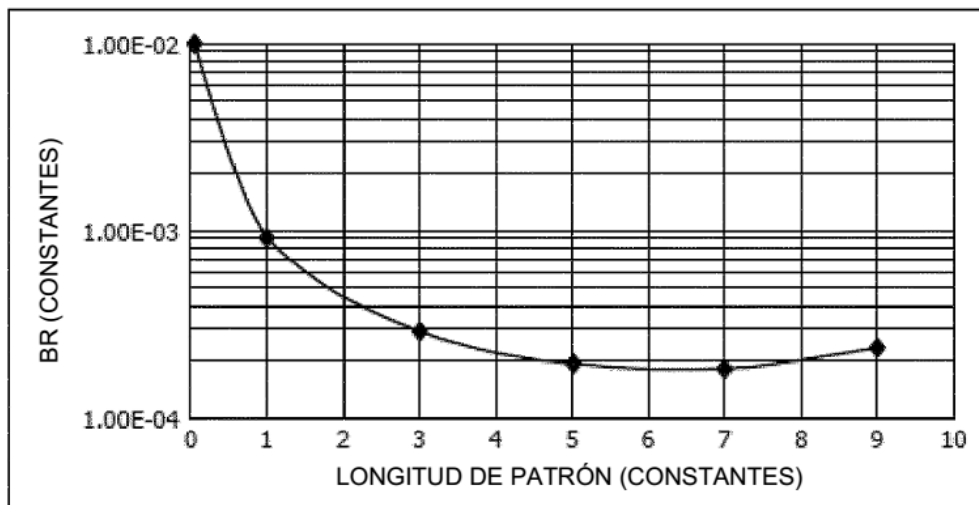


FIG. 14

1500

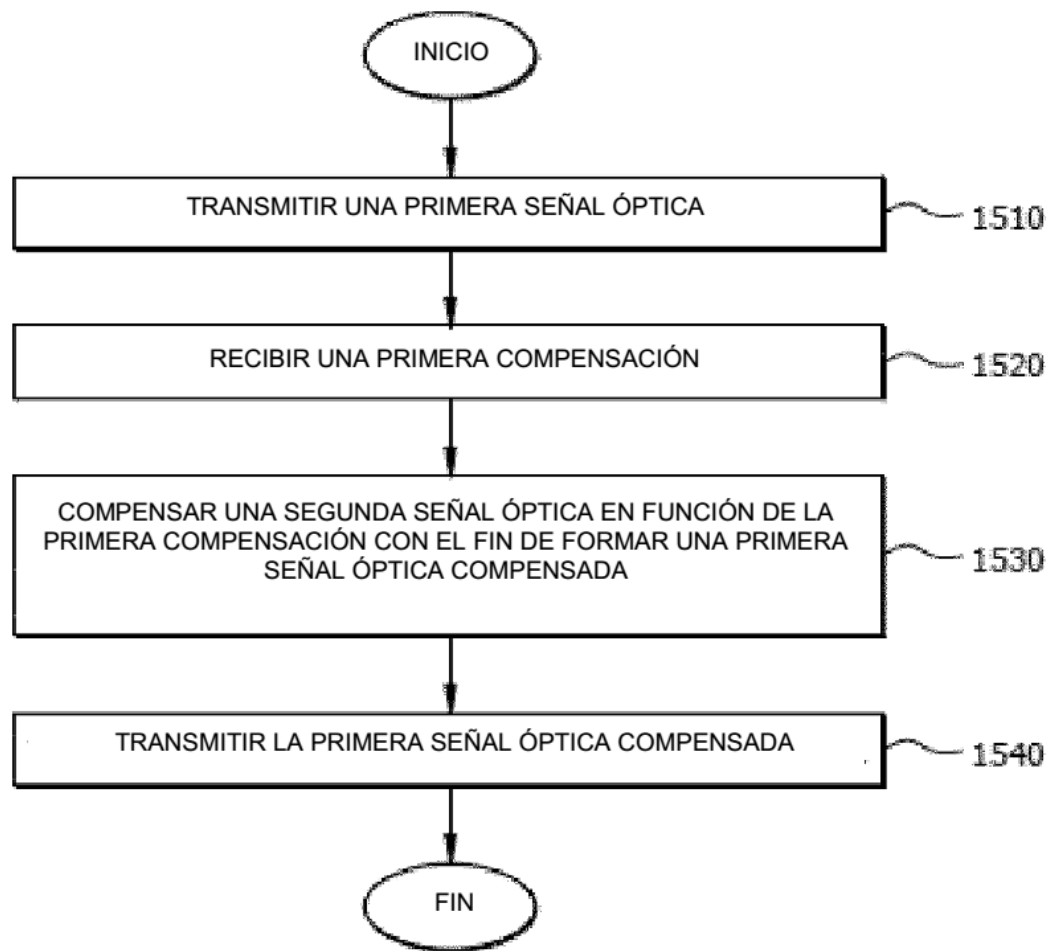


FIG. 15