

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 451**

51 Int. Cl.:  
**H04J 14/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08803641 .3**  
96 Fecha de presentación: **04.09.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2332276**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.06.2011**

54 Título: **Redes ópticas pasivas**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**28.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**28.05.2012**

73 Titular/es:  
**Telefonaktiebolaget L M Ericsson (PUBL)**  
**164 83 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:  
**PRESI, Marco;**  
**CONTESTABILE, Giampiero;**  
**CIARAMELLA, Ernesto y**  
**PROIETTI, Roberto**

74 Agente/Representante:  
**de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 381 451 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

Redes ópticas pasivas

5 Campo técnico

La invención se refiere a un sistema de red óptica pasiva (PON – Passive Optical Network, en inglés), a una unidad de red óptica y a un método de codificación en línea de red óptica pasiva.

10 Antecedentes

La mayoría de los operadores de red de telecomunicaciones están actualmente buscando maneras en las que desplegar Redes Ópticas Pasivas (PON – Passive Optical Network, en inglés) en entornos para los que se necesita evitar la oficina central en favor de las llamadas PONs de “largo alcance”. Con esta visión, las Unidades de Red Ópticas (ONUs – Optical Network Units, en inglés) están conectadas directamente al Terminal de Línea Óptico (OLT – Optical Line Terminal, en inglés) mediante enlaces ópticos que podrían tener una longitud de hasta 100 km. Actualmente, este objetivo se logra por medio de amplificadores en línea, también conocidos como extensores, proporcionados dentro de la PON. Aunque asociado con un aumento de gastos de operación, este planteamiento está siendo adoptado por la mayoría de los operadores de telecomunicaciones para extender el alcance de los sistemas de PON-Gigabit (G-PON – Gigabit-PON, en inglés) que están basados en el Acceso Múltiple en el Dominio del Tiempo (TDMA – Time Domain Multiple Access, en inglés), como se indica en R. Davey, “Next Generation Extended Reach PON” OFC/NFOEC, 2008, Documento OThL1, Feb., 2008.

Está reconocido que la implementación de la PON multiplexada por división de longitud de onda (WDM-PON – Wavelength Division Multiplexed PON, en inglés), en la cual a cada ONU se le asigna una única longitud de onda, permitirá una utilización más eficiente del ancho de banda de la fibra y simplificará la gestión de la red, puesto que todas las conexiones son de punto a punto. “A Bidirectional WDM-PON Based on Gain-Saturated Reflective Semiconductor Optical Amplifiers” ha sido reportado por W. Lee, M. Park, S. Cho, J. Lee, C. Kim, G. Jeong y B. Kim en Photonics Technology Letters, IEEE, vol. 17, n.º 11, pp. 2460-2462, 2005. Con el fin de proporcionar una completa remodulación del tráfico en el flujo descendente, el R-SOA debe ser operado en régimen de saturación, lo que presenta problemas de balance de potencia. Para mitigar este problema, se han sugerido varias soluciones.

Una primera propone el uso de señales de flujo descendente de índice de modulación reducida (N. Calabretta, M. Presi, R. Proietti, G. Contestabile y E. Ciaramella, “A Bidirectional WDM/TDM-PON Using DPSK Downstream Signals and a Narrowband AWG.” Photonics Technology Letters, IEEE, vol. 19, n.º 16, pp. 1227-1229, 2007), pero esto introduce limitaciones en la sensibilidad del flujo descendente, y aumenta el consumo de potencia en la señal de flujo ascendente debido a la dispersión de Rayleigh inducida por el canal de flujo descendente. Otra solución propuesta es emplear transmisiones semi-dúplex, en las cuales los R-SOAs son alimentados con luz de CW de flujo descendente en los intervalos de transmisión de flujo ascendente (C. Arellano, C. Langer y J. Prat, “Optical Network Units based on Semiconductor Optical Amplifiers in Single-Wavelength Single-Fiber Access Networks.” Breitbandversorgung in Deutschland wie schaffen wir den Anschluss, 2005). “WDM-PON Architectures With a Single Shared Interferometric Filter for Carrier-Reuse Upstream Transmission,” ha sido propuesto por X. Cheng, Y. Wang, T. Cheng y C. Lu, en Journal of Lightwave technology, vol. 25, n.º 12, p. 3669, 2007. Esta técnica se basa en el uso de filtros estrechos en el nodo óptico remoto, y aunque una fibra óptica es un elemento pasivo, sin embargo introduce una dependencia de las longitudes de onda del canal que debería ser evitada para implementaciones prácticas. Proporcionar fuentes de siembra de banda ancha para un R-SOA del OLT (separadas de la señal de datos de flujo descendente) ha sido propuesto por P. Healey, P. Townsend, C. Ford, L. Johnston, P. Townley, I. Lealman, L. Rivers, S. Perrin and R. Moore, “Spectral slicing WDM-PON using wavelength-seeded reflective SOAs,” Electronics Letters, vol. 37, n.º 19, pp. 1181-1182, 2001. No obstante, este planteamiento requiere un filtrado adicional en la ONU. Se ha propuesto también la auto-siembra del R-SOA, en E. Wong, K. Lee y T. Anderson, “Directly-Modulated-Self-Seeding Reflective SOAs as Colorless Transmitters for WDM Passive Optical Networks”, J. Lightwave Technol. 25, 67-74 (2007). La auto-siembra inicialmente parecía que iba a ser una técnica prometedora; sin embargo, su implementación práctica está severamente limitada por las pérdidas de potencia experimentadas en el nodo óptico remoto. En la práctica, no es posible realizar este esquema en un entorno real.

Otros planteamientos, basados en el uso de codificación en línea óptica, han sido también propuestos, incluyendo RZ Inversa (IRZ – Inverse RZ, en inglés) para la señal de flujo descendente y codificación en NRZ para la señal de flujo ascendente (N. Deng, C. Chang y L. Cheng, “A centralized-light-source WDM access network utilizing inverse-RZ downstream signal with upstream data remodulation”, Optical Fiber Technology, vol. 13, n.º 1, pp 18-21, 2007) y codificación en Manchester para la señal de flujo descendente y codificación en NRZ para la señal de flujo ascendente (H. Chung, B. Kim, H. Park, S. Chang, M. Chu y K. Kim, “Effects of inverse-RZ and Manchester code on a wavelength reused WDM-PON”, Lassers & Electro-Optics Society, IEEE, pp. 298-299, 2006). Transportando energía distinta de cero en cada bit (tanto “marca” como “espacio”) el uso de tales esquemas de codificación facilita la remodulación del flujo ascendente. No obstante, esta técnica limita severamente el ancho de banda de la remodulación del flujo ascendente.

Compendio

Es deseable obviar al menos uno o más de los inconvenientes anteriores y proporcionar un sistema de red óptica pasiva, una unidad de red óptica y un método de codificación en línea de red óptica pasiva mejorados.

- 5 De acuerdo con un primer aspecto de la invención se proporciona un sistema de red óptica pasiva que comprende un terminal de línea óptico que comprende: un transmisor óptico de enlace descendente configurado para generar una señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso y un receptor óptico de enlace ascendente configurado para recibir una señal de datos de flujo ascendente. Una unidad de red óptica que comprende un receptor óptico de enlace descendente está configurada para recibir una primera porción de la señal de datos de flujo descendente. Un remodulador óptico de enlace ascendente está configurado para recibir una segunda porción de la señal de datos de flujo descendente y remodularla para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero. Un enlace óptico acoplado entre el terminal de línea óptico y la unidad óptica está configurado para transmitir señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente entre ellos.
- 10
- 15 El par de codificación en línea en retorno a cero inverso/retorno a cero es transparente para la arquitectura del sistema de red óptica pasiva, proporcionando así un alto grado de flexibilidad en el diseño y despliegue de las WDM-PONs de siguiente generación.
- 20 La señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso comprende preferiblemente impulsos oscuros que tienen un ciclo de trabajo de aproximadamente cincuenta por ciento. El sistema de red óptica pasiva es por lo tanto capaz de alcanzar anchos de banda de datos de flujo descendente y de flujo ascendente simétricos.
- 25 El remodulador óptico de enlace ascendente comprende preferiblemente un modulador electro-óptico configurado para ser controlado por una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero. El remodulador óptico de enlace ascendente está preferiblemente configurado tanto para remodular como para amplificar la citada segunda porción de señal de datos de flujo descendente con el fin de generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero. El remodulador óptico de enlace ascendente comprende preferiblemente un amplificador óptico de semiconductores reflexivo configurado para ser controlado por una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero.
- 30 El amplificador óptico de semiconductores reflexivo es preferiblemente operable mediante la recepción de un impulso oscuro que tiene un borde de ataque de impulso y una cola de impulso para suprimir la cola del impulso oscuro con el fin de formar un cero lógico para la señal de datos de flujo ascendente o para amplificar la cola del impulso oscuro con el fin de formar un uno lógico, y es operable mediante la recepción de un impulso de luz para suprimir medio impulso con el fin de formar un uno lógico o para suprimir todo el impulso con el fin de formar un cero lógico.
- 35 El amplificador óptico de semiconductores reflexivo por lo tanto sólo remodula señales luminosas de onda continua (CW – Continuous Wave, en inglés).
- 40 El amplificador óptico de semiconductores reflexivo está preferiblemente configurado para operar fuera de su régimen de saturación para potencias de entrada en el nivel de potencia óptica de la segunda porción de la señal de datos de flujo descendente. La segunda porción de la señal de datos de flujo descendente preferiblemente tiene una potencia óptica no mayor de  $P = G \cdot P(\text{max})$ , donde P está en dBm, G es la ganancia del amplificador óptico de semiconductores reflexivo en dB y P(max) es la potencia de salida óptica máxima del amplificador óptico de semiconductores reflexivo en dBm.
- 45 La operación del amplificador óptico de semiconductores reflexivo fuera de su régimen de saturación relaja las restricciones del balance de potencia en el sistema de red óptica pasiva.
- 50 La unidad de red óptica preferiblemente comprende también un aparato de sincronización de señal configurado para intercalar la señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero mediante medio bit con respecto a la señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso de entrada. El aparato de sincronización de señal preferiblemente comprende una línea de retardo óptica proporcionada entre el enlace óptico y el remodulador óptico de enlace ascendente.
- 55 Esto asegura que la luz de CW está disponible en el amplificador óptico de semiconductores reflexivo para remodulación.
- 60 Preferiblemente, el sistema de red óptica pasiva comprende una pluralidad de unidades de red óptica, estando el enlace óptico acoplado entre el terminal de línea óptico y cada una de las unidades de red óptica.

5 Las unidades de red óptica pueden estar configuradas para recibir señales de datos de flujo descendente de una pluralidad de diferentes longitudes de onda, el terminal de línea óptica comprende una pluralidad de transmisores ópticos de enlace descendente correspondientes configurados para generar señales de datos de flujo descendente codificadas en línea en retorno a cero inverso en una pluralidad de longitudes de onda, y el enlace óptico comprende también un aparato de multiplexación por división de longitud de onda y un aparato de desmultiplexación por división de longitud de onda. El sistema de red óptica pasiva puede, por lo tanto, implementar una red óptica pasiva multiplexada por división de longitud de onda.

10 Una pluralidad de unidades de red óptica pueden estar dispuestas en uno o más subconjuntos, estando las unidades de red óptica en cada subconjunto configuradas para recibir señales de datos de flujo descendente de substancialmente la misma longitud de onda, y el enlace óptico comprende también un divisor de potencia óptica de uno a muchos proporcionado entre el terminal de línea óptica y el o cada subconjunto. El sistema de red óptica pasiva puede por lo tanto implementar una red óptica pasiva de acceso múltiple híbrida multiplexada por división de longitud de onda/ división de tiempo.

15 El enlace óptico comprende preferiblemente una fibra de alimentación entre el aparato de multiplexación por división de longitud de onda y el aparato de desmultiplexación por división de longitud de onda, una fibra de distribución de largo alcance para cada unidad de red óptica única y una fibra de distribución de corto alcance desde cada divisor de potencia óptica de uno a muchos hasta las unidades de red óptica en su respectivo subconjunto.

20 Las unidades de red óptica pueden, cada una ellas, estar configuradas para recibir señales de datos de flujo descendente de substancialmente la misma longitud de onda y el enlace óptico comprende también un divisor de potencia óptica de uno a muchos proporcionado entre el terminal de línea óptica y las unidades de red óptica. El sistema de red óptica pasiva puede por lo tanto implementar una red óptica pasiva de acceso múltiple por división de tiempo.

25 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención se proporciona una unidad de red óptica que comprende un receptor óptico de enlace descendente configurado para recibir una primera porción de una señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso. Un remodulador óptico de enlace ascendente está configurado para recibir una segunda porción de la señal de datos de flujo descendente y remodularla para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero.

30 El remodulador óptico de enlace ascendente preferiblemente comprende un modulador electro-óptico configurado para ser controlado mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero. El remodulador óptico de enlace ascendente está preferiblemente configurado tanto para remodular como para amplificar la citada segunda porción de la señal de datos de flujo descendente para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero. El remodulador óptico de enlace ascendente preferiblemente comprende un amplificador óptico de semiconductores reflexivo configurado para ser controlado mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero.

35 El amplificador óptico de semiconductores reflexivo es preferiblemente operable mediante la recepción de un impulso oscuro que tiene un borde de ataque de impulso y una cola de impulso para suprimir la cola del impulso oscuro con el fin de formar un cero lógico para la señal de datos de flujo ascendente o para amplificar la cola del impulso oscuro con el fin de formar un uno lógico, y es operable mediante la recepción de un impulso luminoso para suprimir medio impulso con el fin de formar un uno lógico o para suprimir el impulso completo con el fin de formar un cero lógico.

40 El amplificador óptico de semiconductores reflexivo, por lo tanto, sólo remodula señales luminosas de onda continua (CW – Continuous Wave, en inglés).

45 El amplificador óptico de semiconductores reflexivo está preferiblemente configurado para operar fuera de su régimen de saturación para potencias de entrada en el nivel de potencia óptica de la segunda porción de la señal de datos de flujo descendente. La segunda porción de la señal de datos de flujo descendente preferiblemente tiene una potencia óptica de no más de  $P = G - P(\max)$ , donde P está en dBm, G es la ganancia del amplificador óptico de semiconductores reflexivo en dB y P(max) es la potencia de salida máxima del amplificador óptico de semiconductores reflexivo en dBm.

50 La unidad de red óptica preferiblemente comprende también un aparato de sincronización de señal configurado para intercalar la señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero mediante medio bit con respecto a la señal de datos de flujo descendente codificado en línea en retorno a cero inverso. El aparato de sincronización de señal preferiblemente comprende una línea de retardo óptica proporcionada entre el enlace óptico y el remodulador óptico de enlace ascendente.

Esto asegura que la luz de CW está disponible en el amplificador óptico de semiconductores reflexivo para su remodulación.

5 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención se proporciona un método de codificación en línea de red óptica pasiva que comprende generar una señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso. Una porción de la señal de datos de flujo descendente es recibida y remodulada con el fin de generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero.

10 El par de codificación en línea en retorno a cero inverso/retorno a cero es transparente para la arquitectura de la red óptica pasiva con la cual se utiliza el método, proporcionando así un alto grado de flexibilidad en el diseño y el despliegue de WDM-PONs de la siguiente generación.

15 La señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso preferiblemente comprende impulsos oscuros que tienen un ciclo de trabajo de aproximadamente el cincuenta por ciento. El método puede por lo tanto ser utilizado para alcanzar anchos de banda de flujo descendente y de flujo ascendente simétricos.

20 La remodulación de la porción de la señal de datos de flujo descendente es preferiblemente llevada a cabo para proporcionar la porción de la señal de datos de flujo descendente a un modulador electro-óptico y controlar el modulador electro-óptico mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero.

El método de codificación en línea preferiblemente comprende tanto remodular como amplificar la porción de la señal de datos de flujo descendente para generar una señal de datos de enlace ascendente codificada en línea en retorno a cero.

25 La remodulación y amplificación de la porción de la señal de datos de flujo descendente es preferiblemente llevada a cabo proporcionando la porción de la señal de datos de flujo descendente a un amplificador óptico de semiconductores reflexivo y controlando el amplificador óptico de semiconductores reflexivo mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero.

30 La señal de datos de enlace ascendente remodulada es preferiblemente generada, mediante la recepción de un impulso oscuro que tiene un borde de ataque del impulso y una cola del impulso, siendo la cola del impulso oscuro suprimida para formar un cero lógico para la señal de datos de flujo ascendente o siendo amplificada para formar un uno lógico y, mediante la recepción de un impulso luminoso, siendo suprimido medio impulso para formar un uno lógico o siendo el impulso completo suprimido para formar un cero lógico.

35 Por lo tanto sólo las señales luminosas de onda continua (CW – Continuous Wave, en inglés) son remoduladas.

40 El amplificador óptico de semiconductores reflexivo es preferiblemente operado fuera de su régimen de saturación para potencias de entrada en el nivel de la potencia óptica de la segunda porción de la señal de datos de flujo descendente. La potencia óptica de la segunda porción de la señal de datos de flujo descendente es preferiblemente establecida a no menos de  $P = G - P(\text{max})$ , donde P está en dBm, G es la ganancia del amplificador óptico de semiconductores reflexivo en dB y P(max) es la potencia de salida óptica máxima del amplificador óptico de semiconductores reflexivo en dBm.

45 La operación del amplificador óptico de semiconductores reflexivo fuera de su régimen de saturación relaja las restricciones del balance de potencia en el sistema de red óptica pasiva.

50 El método de codificación en línea preferiblemente comprende también intercalar la señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero mediante medio bit con respecto a la señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso de entrada. Preferiblemente, la sincronización de las señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente se lleva a cabo introduciendo un retardo óptico a la porción de la señal de datos de flujo descendente que va a ser remodulada.

55 Esto asegura que la luz de CW está disponible para la remodulación.

Se describirán ahora con detalle reivindicaciones de la invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos que se acompañan.

60 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una representación esquemática de un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con una primera realización de la invención; la Figura 2 es una representación esquemática de un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con una segunda realización de la invención;

la Figura 3 es una representación esquemática de un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con una tercera realización de la invención;

la Figura 4 es una representación esquemática de (a) una disposición experimental de una red óptica pasiva de acuerdo con la segunda realización de la invención y (b) del receptor de la unidad de red óptica;

la Figura 5 muestra diagramas visuales para señales de flujo descendente (DS – DownStream, en inglés) y flujo ascendente (US – UpStream, en inglés) de la PON de la Figura 4: DS: (a) en serie; (b) tras 80 km de SMF; (c) tras 80 km de SMF y R-SOA desenchufado; US en serie para tres niveles de potencia de señal de semilla: (d) -25 dBm; (e) -30 dBm; (f) -35 dBm. Los diagramas visuales son grabados en una escala de tiempo de 100 ps/ división con un filtro de post-detección eléctrico de 1,87 GHz;

la Figura 6 muestra medidas de tasa de error de bits (BER – Bit Error Rate, en inglés) para señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente de la PON de la Figura 4 para largo alcance (80 km); los símbolos blancos se refieren a condiciones en serie y los símbolos negros indicaron la BER tras la transmisión a través de 80 km de SMF;

la Figura 7 muestra medidas de tasa de error de bits (BER – Bit Error Rate, en inglés) para señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente de la PON de la Figura 4 para corto alcance (26 km); los símbolos blancos se refieren a condiciones en serie y los símbolos negros indicaban la BER tras la transmisión a través de 26 km de SMF; y

la Figura 8 es un diagrama de flujo de un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con una cuarta realización de la invención.

#### Descripción detallada

En referencia a la Figura 1, una primera realización de la invención proporciona un sistema de red óptica pasiva (PON – Passive Optical Network, en inglés) de corto alcance 10 que comprende un terminal de línea óptico (OLT – Optical Line Terminal, en inglés) 12, una unidad de red óptica (ONU – Optical Network Unit, en inglés) 26 y un enlace óptico 40, en forma de fibra monomodo de 25 km, acoplado entre el OLT 12 y la ONU 26 y configurado para transmitir señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente entre ellos. En esta realización, el OLT 12 comprende un transmisor óptico de flujo descendente 14 configurado para generar una señal de datos de flujo descendente codificado en línea en retorno a cero inverso (IRZ – Inverse Return to Zero, en inglés), y un receptor óptico de enlace ascendente 16 configurado para recibir una señal de datos de flujo ascendente.

La codificación en línea en IRZ comprende una señal de dos niveles que comprende un impulso luminoso (un impulso de onda continua (CW – Continuous Wave, en inglés) para representar un 0 lógico y ningún impulso, por ejemplo, ninguna luz, o al menos substancialmente menos luz de la del nivel de luz de CW, (también conocido como un “impulso oscuro”) para representar un 1 lógico. La señal vuelve a cero (es decir, luz de CW) entre impulsos. Los impulsos oscuros tienen un ciclo de trabajo del 50%, es decir, tienen una duración de medio ciclo de reloj. Los impulsos oscuros tienen un borde de ataque, que es la transición de la luz de CW a ninguna luz, y un borde de salida (la “cola” del impulso), que es la transición de ninguna luz a luz de CW, como se muestra en la Figura 2(a) en relación con la segunda realización. Siendo el borde de salida una porción de transición, comprenderá así alguna luz.

El transmisor 14 óptico de enlace descendente comprende una fuente de señal portadora óptica, en forma de láser 18, operable para generar una señal portadora óptica, una fuente 22 de señal de datos electrónica de IRZ y un modulador de intensidad, que aquí toma la forma de un modulador 20 Mach-Zehnder. La fuente 22 de señal de datos de IRZ genera una señal de datos de IRZ de ciclo de trabajo del 50% (50% de IRZ) a 1,25 Gb/s. La señal de datos de 50% de IRZ controla el modulador 20 Mach-Zehnder para aplicar la señal de datos de IRZ a la señal portadora óptica, para generar una señal de datos de flujo descendente codificada en línea de 50% IRZ de 1,25 Gb/s.

La señal de datos de flujo descendente está acoplada en el enlace óptico 40 por medio de un circulador óptico (OC – Optical Circulator, en inglés) 24. Las señales de datos de flujo ascendente están acopladas desde el enlace óptico 40 al enlace ascendente óptico 16 por medio del circulador óptico 24.

La ONU 26 comprende un receptor 28 óptico de enlace descendente configurado para recibir una primera porción de una señal de datos de flujo descendente y un remodulador óptico de enlace ascendente 30 codificado para recibir una segunda porción de la señal de datos de flujo descendente y tanto para remodularla como para amplificarla para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero (RZ – Return to Zero, en inglés).

La ONU 26 comprende también un acoplador 38 de 3 dB acoplado en un lado del enlace óptico 40 y en su otro lado al receptor 28 óptico de enlace descendente y al remodulador 30. El acoplador 38 de 3 dB actúa para dividir una señal de datos de flujo descendente recibida en dos señales de substancialmente la misma potencia (una señal para ser recibida por el receptor 28 óptico de enlace descendente y una señal de semilla óptica para el remodulador 30), y acopla las señales al receptor 28 óptico de enlace descendente y el remodulador 30 respectivamente.

La ONU 26 comprende también una fuente de señal de reloj local asociada con el receptor 28 de flujo descendente.

5 El remodulador 30 óptico de enlace ascendente comprende un modulador electro-óptico en forma de amplificador óptico de semiconductores reflexivo (R-SOA – Reflective Semiconductor Optical Amplifier, en inglés) 32, una fuente de señal de datos electrónica 34 de RZ y un aparato de sincronización de señal en forma de una línea de retardo óptica 36 (ODL – Optical Delay Line, en inglés) variable.

10 El R-SOA 32 en este ejemplo comprende un dispositivo disponible comercialmente que proporciona 21 dB de pequeña ganancia de señal a 50 mA de corriente de polarización, 2 dBm de potencia de saturación de salida, 1 dB de ganancia dependiente de polarización y 8 dB de cifra de ruido, y está polarizado a 70 mA. El R-SOA 32 es operado fuera de su régimen de saturación. La señal de semilla recibida en el R-SOA 32 tiene un nivel de potencia no mayor de  $P = G \cdot P(\text{max})$ , donde P está en dBm, G es la ganancia del R-SOA en dB y P(max) es la potencia de salida óptica máxima del R-SOA en dBm. En este ejemplo, la señal de semilla tiene una potencia de entre -15 dBm y -35 dBm. La fuente de señal de datos de RZ genera una señal de datos de RZ de 1,25 Gb/s de pico a pico.

15 La línea de retardo óptica 36 actúa para sincronizar la señal de datos de flujo ascendente (es decir, la señal de datos de RZ) con la señal de datos de flujo descendente, junto con la fuente de reloj local, de manera que la señal de datos de flujo ascendente es intercalada mediante medio bit con respecto a la señal de datos de flujo descendente de entrada. Esto significa que la señal de datos de RZ es aplicada (es decir, el R-SOA remodula y amplifica) sólo cuando la señal de semilla comprende una señal de CW, como sigue.

20 Cuando la señal de datos de flujo descendente comprende un impulso oscuro (un 1 lógico), la señal de semilla comprende la cola del impulso oscuro, que es suprimida por el R-SOA 32 para formar un 0 lógico para la señal de datos de flujo ascendente o es amplificada por el R-SOA 32 para formar un 1 lógico. Cuando la señal de datos de flujo descendente comprende un impulso luminoso (un 0 lógico), la señal de semilla comprende un impulso luminoso de CW que tiene una duración igual al ciclo de reloj completo, la mitad del impulso luminoso es suprimida por el R-SOA 32 para formar un 1 lógico o el impulso completo es suprimido por el R-SOA 32 para formar un 0 lógico.

25 Resultará evidente que la fibra del enlace óptico 40 puede ser de una longitud diferente, y puede ser en particular una fibra de largo alcance que tenga una longitud de, por ejemplo, 80-100 km, para formar un sistema de red óptica pasiva de largo alcance.

30 En referencia a la Figura 2, una segunda realización de la invención proporciona un sistema de red óptica pasiva (PON – Passive Optical Network, en inglés) multiplexada por división de longitud de onda (WDM – Wavelength Division Multiplexed, en inglés) 50 que es una extensión del sistema de red óptica pasiva 10 de la primera realización. Los mismos números de referencia se mantienen para características correspondientes.

35 En esta realización de WDM-PON, el OLT 52 comprende una matriz de transmisores (Tx) ópticos de enlace descendente, configurada para generar una pluralidad de señales de datos de flujo descendente codificadas en línea de retorno a cero inverso (IRZ – Inverse Return to Zero, en inglés), cada una en una diferente de una pluralidad de longitudes de onda de portadora óptica, y una matriz de receptores ópticos de enlace ascendente (Rx) 60 configurada para recibir una pluralidad de señales de datos de flujo ascendente a las citadas longitudes de onda de las portadoras.

40 La matriz de Tx de enlace descendente 54 comprende una pluralidad de fuentes de señal de portadora óptica en forma de láseres 56. La pluralidad de señales de datos de flujo descendente codificadas en línea de IRZ resultante son multiplexadas mediante una (AWG – Arrayed Waveguide Grating, en inglés) 58 y acopladas por medio del circulador óptico (OC – Optical Circulator, en inglés) 24 en una fibra de alimentación monomodo 66, que tiene una longitud de 20 km, que forma la primera parte del enlace óptico.

45 La matriz de Rx de enlace ascendente 60 comprende una correspondiente pluralidad de fotodiodos 62. Las señales de datos de flujo ascendente están acopladas a los fotodiodos 62 desde la fibra de alimentación 66 a través del circulador 24 y de un desmultiplexador en una segunda AWG 64.

50 La WDM-PON 50 comprende una pluralidad de ONUs 26 (sólo se muestran dos en aras de la claridad). El enlace óptico en esta reivindicación comprende la fibra de alimentación monomodo 66, una pluralidad de fibras de distribución 70 (sólo se muestran dos,  $\lambda_L$ ,  $\lambda_S$ , en aras de la claridad) y una tercera AWG 68 acopladas entre la fibra de alimentación 66 y las fibras de distribución 70. En este ejemplo, las fibras de distribución son fibras de distribución de largo alcance, que tienen cada una una longitud de 60 km. La tercera AWG 68 actúa para desmultiplexar la pluralidad de señales de datos de flujo descendente y encaminar cada una hacia su respectiva fibra de distribución 70 y ONU 26, y actúa para desmultiplexar una pluralidad de señales de datos de flujo ascendente recibidas desde las ONUs 26 en la fibra de alimentación 66 para transmisión en flujo ascendente al OLT 52.

55 Los receptores ópticos de enlace descendente comprenden un fotodiodo 28a y un receptor digital 28b.

En referencia a la Figura 3, una tercera reivindicación de la invención proporciona una PON de WDM/ Acceso Múltiple por División de tiempo (TDMA – Time Division Multiple Access, en inglés) híbrida 80, que es substancialmente la misma que la WDM/PON 50 de la segunda realización, con las siguientes modificaciones. Se mantienen los mismos números de referencia para características correspondientes.

En esta realización, se utilizan una o más longitudes de onda de señal portadora para una subred de TDMA de corto alcance 81 de la tercera AWG 68 (sólo se muestra una,  $\lambda_s$ , en aras de la claridad). La subred de TDMA 81 comprende una fibra de distribución de corto alcance 82, un  $1 \times N$  (en este ejemplo  $1 \times 6$ ) divisor de potencia óptica 84 y seis ONUs 26.

La Figura 4(a) muestra una representación esquemática de una disposición experimental de la red óptica pasiva 90 de acuerdo con la segunda realización de la red. Se mantienen los mismos números de referencia para características correspondientes.

La disposición experimental se prueba utilizando un único canal de longitud de onda. Resultará evidente que se alcanzarían los mismos resultados para cada uno de una pluralidad de canales de longitud de onda en la WDM-PON 50 de la Figura 2.

En esta prueba experimental, la señal de datos de IRZ de flujo descendente fue obtenida modulando un láser 18 de cavidad externa que opera a 1542 nm con un modulador 20 de Intensidad Mach-Zehnder; fue controlada mediante una secuencia de bits pseudoaleatoria eléctrica (PRBS – Secuencia de Bits PseudoAleatoria, en inglés),  $2^7-1$  bits de longitud codificada en un patrón de IRZ a 1,25 Gb/s generado mediante un generador de patrón de impulsos 22. Esta longitud de datos es compatible con la codificación de 8B10B.

El transmisor 14 de flujo descendente comprendía también un Atenuador Óptico Variable (VOA – Variable Optical Attenuator, en inglés) 94, utilizado para establecer el nivel de potencia óptica en la ONU 100. El VOA 94 se situaba en el transmisor 14 con el fin de evaluar las deficiencias debidas a reflexiones hacia atrás (Dispersión de Rayleigh y Fresnel) en los canales tanto de flujo descendente como de flujo ascendente.

Tras pasar a través de un circulador óptico (OC – Optical Circulator, en inglés) 24, que tiene una pérdida de inserción de 1 dB, la señal de flujo descendente fue emitida en una Fibra de Alimentación Monomodo (SMF – Single Mode Feeder Fiber, en inglés) 40. En esta prueba experimental, se consideran dos casos: una fibra de alimentación 40 de 25 km de corto alcance (que tiene una pérdida de inserción total de 6 dB); y una fibra de alimentación 40 de 80 km de largo alcance (que tiene una pérdida de inserción total de 20 dB), con el fin de evaluar el rendimiento del par de codificación en línea en IRZ/RZ en casos tanto de corto como de largo alcance.

La AWG 68 de la Figura 2 fue emulada por medio de un filtro óptico ajustable (TF – Tunable optical Filter, en inglés) 96 de 0,8 nm, que tiene una pérdida de inserción de 3 dB. Aunque el experimento fue llevado a cabo en una única longitud de onda, este filtro era necesario para rechazar ruido de emisión espontánea amplificada (ASE – Amplified Spontaneous Emission, en inglés) generado por el R-SOA cuando es operado fuera del régimen de saturación.

La ONU 100 comprendía un acoplador 38 de 3 dB, un receptor (Rx) 28 y un R-SOA 32. El R-SOA 32 fue un dispositivo disponible comercialmente, que proporciona 21 dB de pequeña ganancia de señal a 50 mA de corriente de polarización, 2 dBm de potencia de saturación de salida, 1 dB de ganancia dependiente de la polarización y 8 dB de cifra de ruido. El R-SOA 32 fue polarizado a 70 mA y controlado con una señal codificada en RZ de pico a pico de 7 V (una PRBS de longitud  $2^7-1$ , a 1,25 Gb/s, como para la señal de datos de flujo descendente). Una Línea de Retardo Óptica (ODL – Optical Delay Line, en inglés) 36 se utilizó para asegurar una adecuada sincronización entre las señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente.

En referencia a la Figura 4(b), el receptor 28 de la ONU comprende un detector de diodos de PIN 112, que fue preamplificado ópticamente con el fin de solucionar la baja capacidad de respuesta del detector de diodos de PIN 112 disponible y permitir una medida de Tasa de Error de Bits (BER – Bit Error Rate, en inglés) con bajos niveles de potencia recibida. La preamplificación óptica fue llevada a cabo mediante un Amplificador de Fibra Dopado con Erblio (EDFA – Erbium Doped Fiber Amplifier, en inglés) de doble etapa (PRE) 106 que proporciona 45 dB de ganancia con una cifra de ruido de 5 dB. Fue seguido por un filtro óptico ajustable (TF – Tunable optical Filter, en inglés) 108 que tiene 0,2 nm de ancho de línea (ancho completo medio máximo (FWHM – Full Width Half Maximum, en inglés) para la eliminación de ruido de ASE. El preamplificador de EDFA 106 fue alimentado con una señal óptica de CW de fuera de banda con el fin de mantenerlo trabajando adecuadamente.

Un filtro de paso bajo (LPF – Low Pass Filter, en inglés) de Bessel de 4º orden que tiene un ancho de banda de 1,87 GHz se utilizó para rechazar el ruido de alta frecuencia de la señal recibida. A la tasa de bits probada (1,25 Gb/s), se preferiría un filtro de post-detección, pero no estaba disponible. Se llevaron a cabo medidas de BER manteniendo una potencia óptica constante para el fotodiodo (-6 dBm). El receptor 28 permitió que se realizase una medida de

BER con potencia óptica de entrada de canal único tan baja como de -50 dBm. Se utilizó el mismo receptor que el receptor 16 de enlace ascendente en el OLT 92 para caracterizar el rendimiento de transmisión de la señal de flujo ascendente. En un entorno real, un fotodiodo de avalancha (APD – Avalanche PhotoDiode, en inglés) se preferiría como receptor, al menos en el lado de la ONU de la PON 90.

La Figura 5 muestra los diagramas visuales de la señal de flujo descendente (DS – Downstream, en inglés) y de la señal de flujo ascendente (US – UpStream, en inglés). Los diagramas visuales se muestran en serie (a) y tras la transmisión (b, c). Como puede verse, el diagrama visual de la señal de flujo descendente sólo está ligeramente afectado por la propagación a través de la PON 90. Cuando la señal de flujo ascendente es aplicada (R-SOA 32 encendido), el diagrama visual de DS muestra un mayor ruido en el nivel del “espacio” (impulso oscuro). Esto se debe a la dispersión hacia atrás de Rayleigh generada por la señal de flujo ascendente. La ligera penalización de potencia inducida por este efecto se detalla más a continuación. Los diagramas visuales mostrados fueron grabados a la salida del R-SOA, y se refieren a tres niveles de potencia de señal de semilla: -25 dBm (d), -30 dBm (e) y -35 dBm (f).

Los diagramas visuales de flujo ascendente están afectados por un efecto de patrón, debido al proceso de remodulación; los impulsos de flujo ascendente remodulados tienen formas ligeramente diferentes dependiendo de si el R-SOA 32 está remodulando la señal de semilla a un 0 ó a un 1. Como puede verse, este patrón no es dependiente de la potencia de la señal de semilla. Aunque este patrón provoca alguna penalización en potencia, los diagramas visuales observados están aún completamente abiertos y libres para todas las potencias de señal de semilla consideradas.

Los resultados muestran también una creciente cantidad de ruido a medida que la potencia de la señal de semilla disminuye. Este ruido resulta significativo para niveles de potencia de señal de semilla muy bajos y provoca una fuerte penalización en la potencia.

En la prueba experimental la transmisión de datos fue llevada a cabo a 1,25 Gb/s, lo cual está cerca del ancho de banda de modulación del R-SOA 32. La limitación del ancho de banda es evidente en el diagrama visual de flujo ascendente. La señal eléctrica de flujo ascendente utilizada es 50% RZ, pero tras una conversión de eléctrica a óptica (E/O – Electrical/Optical, en inglés), la señal de RZ muestra un ciclo de trabajo más alto, de aproximadamente 66%. No obstante, esto no introduce interferencias inter-símbolo en el transmisor de la ONU, y no va en detrimento, puesto que mitiga las deficiencias de dispersión cromática experimentadas por la señal de flujo ascendente. El rendimiento de la PON fue determinado por medidas de BER realizadas utilizando un conjunto de pruebas de tasa de error de bits (BERT – Bit Error Rate Test, en inglés) 98, 102.

Las medidas de BER para el largo alcance, fibra de alimentación de SMF de 80 km 40, se muestran en la Figura 6. La señal de flujo descendente obtiene aproximadamente 1,5 dB de penalización de potencia tras la transmisión mediante SMF de 80 km. Esta penalización de potencia se debe en parte a la dispersión de Rayleigh generada dentro de la fibra de alimentación 40 por la señal de flujo ascendente; cuando el R-SOA 32 es desconectado, la penalización de potencia de flujo descendente se reduce aproximadamente en 0,5 dB. Esta penalización de potencia adicional se observa sólo cuando el R-SOA 32 está altamente saturado (es decir, cuando es alimentado con una potencia óptica que excede -15 dBm) proporcionando así aproximadamente 0 dBm de potencia remodulada. En regímenes de operación en los cuales el R-SOA 32 es operado lejos de la saturación, la potencia remodulada de flujo ascendente no afecta a la sensibilidad de flujo descendente.

El rendimiento de la BER de flujo ascendente se muestra en la Figura 7. La penalización en la potencia de transmisión de la señal de flujo ascendente se determina esencialmente mediante la potencia de la señal de semilla proporcionada al R-SOA 32. Se han investigado tres niveles de potencia de semilla a los cuales el R-SOA 32 operó fuera de su régimen de saturación: -25, -30 y -35 dBm. Para los niveles de potencia de señal de semilla de -25 dBm y -30 dBm se obtuvo un rendimiento similar; la penalización de la potencia de transmisión es 4,5 dB y 5,5 dB para niveles de potencia de señal de semilla de -25 y -30 dBm respectivamente. La penalización de potencia para estos dos niveles de potencia de señal de semilla se debe principalmente a la dispersión hacia atrás de Rayleigh, que limita la Relación de Señal Óptica a Ruido (OSNR – Optical Signal to Noise Ratio, en inglés) de la señal de flujo ascendente en el OLT a 15 dB.

Para niveles de potencia de señal de semilla de menos de -30 dBm, se observó un marcado cambio en el rendimiento de la PON 90. Bajo estas condiciones el ancho de banda de modulación del R-SOA 32 disminuyó ligeramente, y la señal remodulada muestra una significativa degradación a la salida del R-SOA 32. El menor nivel de potencia de señal de semilla útil identificado en esta prueba experimental es -35 dBm. Aunque la sensibilidad en serie muestra una penalización de potencia de 1 dB con respecto a los dos niveles de potencia de señal de semilla más elevados probados, tras la transmisión hemos observado una penalización de aproximadamente 7 dB y un suelo de BER. Bajo tal condición, la señal de flujo ascendente/remodulada tiene un contenido de ASE no despreciable. Aunque prácticamente no afecta a la sensibilidad en serie de flujo ascendente, el efecto de la

dispersión cromática sobre tal ruido de ASE resulta significativo siguiendo la transmisión a través de la fibra de alimentación de SMF de 80 km de la PON 90.

5 El rendimiento de la PON 90 fue también probado para un entorno de corto alcance, que tiene una fibra de alimentación de SMF de 26 km 40, lo que quiere decir que puede aprovecharse un WDM/TDMA híbrido. En este caso, El balance de potencia extra en el R-SOA 32 puede ser utilizado para aumentar la relación de división de potencia del acoplador en la ONU, aumentado de este modo el número de ONUs que pueden compartir la misma longitud de onda.

10 Comparado con el ejemplo de largo alcance, el rendimiento del canal de flujo descendente prácticamente no ha cambiado: no obstante, se observa la misma penalización de potencia de 0,5 dB debido a la reflexión hacia atrás de Rayleigh generada por el canal de flujo ascendente. El canal de flujo ascendente muestra también un rendimiento comparable con el ejemplo de prueba de largo alcance. Debido a la fibra de alimentación de corto alcance 40 que  
15 tiene una menor pérdida de inserción de aproximadamente 6 dB, es posible sembrar el R-SOA 32 con señales de semilla que tienen niveles de potencia más elevados, de hasta -15 dBm. Operando el R-SOA 32 a su máxima ganancia, es posible obtener una relación de señal a potencia reflejada más alta para el canal de flujo ascendente (medida en el OLT 92) comparada con el ejemplo de largo alcance. En particular, la OSNR de flujo ascendente fue de más de 20 dB, lo que representa una mejora de 10 dB comparada con el ejemplo de largo alcance. La penalización de potencia más alta se observó para niveles de potencia de señal de semilla menores de -30 dB (de  
20 manera similar al ejemplo de largo alcance), cuando la degradación de la OSNR debida al R-SOA 32 resulta significativa.

25 Es común en redes ópticas pasivas que el OLT 92 sea capaz de transmitir señales ópticas que n niveles de potencia de 1 mW por canal (0 dBm/canal) y tener pérdidas totales del enlace del orden de 12 dB por canal (4 dB en cada AWG, más 6 dB para la fibra de alimentación 40). Operando la PON 90 a 0 dBm/canal es posible tener 18 dB de pérdida de transmisión a través de la PON 90 y ser capaz de alimentar cada ONU 26 con una señal de semilla que tenga el mínimo nivel de potencia óptica aceptable. Esto corresponde a un divisor de potencia de 1x64, es decir, 64 ONUs 26 pueden ser proporcionadas en una única PON 90.

30 En esta disposición experimental, se utiliza un acoplador de 3 dB a la entrada de la ONU. Utilizando una relación de división desigual para proporcionar una más alta proporción de la señal de flujo descendente recibida como señal de semilla para el R-SOA 32 sería posible aumentar el margen de potencia de la PON 90, permitiendo con ello que un número incluso mayor de ONUs 26 sean servidas mediante una única PON 90. En este caso, el receptor de flujo descendente 28 sería reemplazado por un fotodiodo de avalancha (APD – Avalanche PhotoDiode, en inglés) que  
35 tiene una sensibilidad de aproximadamente -40 dBm a la tasa de bits utilizada.

40 En referencia a la Figura 8, una cuarta realización de la invención proporciona un método de codificación en línea de red óptica pasiva 100 que comprende generar una señal de datos de flujo descendente (DS – DownStream, en inglés) codificada en línea en IRZ 102, y recibir una porción de la señal de DS 106 y remodularla (114, 116, 118, 120, 122, 124) para generar una señal de datos de flujo ascendente (US – UpStream, en inglés) codificada en línea en RZ. El método es adecuado para su uso con otra cualquiera de las realizaciones descritas, y se describe en relación con las arquitecturas de PON de las realizaciones descritas.

45 Con más detalle, se genera una señal de DS codificada en línea en IRZ en el OLT de una red óptica pasiva (PON – Passive Optical Network, en inglés) y es transmitida 104 a través de un enlace de red de la PON a una ONU. En la ONU la señal de flujo descendente es dividida en potencia y una parte es enviada al receptor de flujo descendente de la ONU, siendo la otra parte enviada, como señal de semilla, al transmisor de flujo ascendente, el cual comprende un modulador electro-óptico en forma de un R-SOA de la ONU. El R-SOA es operado fuera de su  
50 régimen de saturación.

55 Se aplica un retardo 108 a la señal de semilla, utilizando una línea de retardo óptica, con el fin de sincronizar las señales de US y de DS e intercalar 108 la señal de US mediante medio bit con respecto a la señal de DS. La sincronización es también asistida por referencia a una señal de reloj local proporcionada en la ONU, asociada con el receptor de flujo descendente.

60 La señal de semilla es recibida en el R-SOA 110 y, para cada bit en la señal de datos de flujo descendente, el bit es identificado como un impulso oscuro o como un impulso luminoso (CW) 112. Si el bit recibido es un impulso oscuro 114, el impulso es remodulado para formar un bit de datos de flujo ascendente como sigue: la cola del impulso oscuro es amplificada 116 con el fin de generar un 1 lógico para la señal de datos de flujo ascendente o es suprimida 118 con el fin de generar un 0 lógico para la señal de datos de flujo ascendente. Si el bit recibido es un impulso luminoso (CW) 120, el impulso es remodulado para formar un bit de datos de flujo ascendente como sigue: la mitad del impulso oscuro es suprimida 122 con el fin de generar un 1 lógico para la señal de datos de flujo ascendente, o todo el impulso es suprimido 124 con el fin de generar un 0 lógico para la señal de datos de flujo

ascendente. El bit de la señal del US remodulado es a continuación transmitido hacia atrás a través del enlace de la red al OLT.

- 5 Las realizaciones descritas proporcionan varias ventajas, como sigue. Los sistemas de red óptica pasiva y el método descritos relajan las restricciones debido a pérdidas de potencia en WDM PONs basadas en ONUs reflexivas sin color, tales como las descritas, que comprenden R-SOAs. Utilizando los sistemas y el método descritos es posible extender el intervalo de operación de los R-SOAs. Los sistemas descritos proporcionan sistemas de PON de largo alcance que no requieren ninguna amplificación en la línea. Los sistemas descritos pueden ser utilizados para
- 10 implementar PONs de corto alcance basadas en un planteamiento de WDM/TDMA híbrido, que proporciona servicio hasta a 64 ONUs, lo que dobla la capacidad de la G-PON estándar. Los sistemas de PON descritos permiten la implementación de TDMA tanto de largo alcance como de corto alcance para diferentes longitudes de onda, abriendo la posibilidad de la realización de redes ópticas pasivas más flexibles.
- 15 Utilizando codificación en IRZ al 50% para la señal de flujo descendente y codificación en RZ para la señal de flujo ascendente es posible no sólo alcanzar un ancho de banda simétrico, sino también operar los R-SOAs lejos del régimen de saturación, relajando de este modo las restricciones en la potencia recibida por las ONUs. Las PONs descritas ofrecen una remodulación de flujo descendente completa libre de errores alimentando el R-SOA con niveles de potencia tan bajos como -35 dBm.
- 20 Los sistemas y el método descritos aumentan enormemente el balance de potencia de la WDM-PON, permitiendo de este modo la implementación, por ejemplo, de PONs de corto alcance de WDM/TDMA híbridas. Si se operan a 1,25 Gb/s esta técnica de codificación es bastante tolerante con las deficiencias de la dispersión cromática. Permite así la implementación de PONs de largo alcance sin que se requieran amplificadores en línea, manteniendo con ello una PON totalmente pasiva. Los sistemas descritos permiten una transmisión bidireccional sobre fibra de alimentación de 80 km sin ninguna otra fuente de amplificación óptica. Además, el uso de codificación en IRZ/RZ es completamente transparente para la arquitectura de la WDM-PON: puede ser implementado para permitir mayores alcances o TDMA en longitudes de onda seleccionadas, proporcionando así un alto grado de flexibilidad en el diseño y despliegue de WDM-PONs de la siguiente generación.
- 25
- 30 En los sistemas descritos, el R-SOA utilizado en la ONU como remodulador es operado fuera del régimen de saturación. Esto permite que las restricciones en el balance de potencia en la PON se relajen. Otra ventaja importante es que no hay limitación inferior en la relación de extinción de la señal de flujo descendente, porque la porción de la señal de flujo descendente que forma la señal de semilla para el R-SOA es siempre remodulada en momentos en los que hay luz de CW. Otra ventaja de los sistemas descritos es que puede utilizarse la misma arquitectura que para las WDM-PONs estándar; el "extremo frontal" óptico de la ONU (receptor y R-SOA) es idéntico al utilizado en la WDM-PON basada en remodulación en NRZ. Así, es posible utilizar el método descrito e
- 35 implementar los sistemas descritos para actualizar el alcance de WDM-PONs ya instaladas.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de red óptica pasiva (10, 50, 80, 90) que comprende:  
 un terminal de línea óptica (12, 52, 92), que comprende:  
 5 un transmisor óptico de enlace descendente (14, 54) configurado para generar una señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso; y un receptor óptico de enlace ascendente (16, 60) configurado para recibir una señal de datos de flujo ascendente;  
 una unidad de red óptica (26, 100) que comprende: un receptor óptico de enlace descendente (28) configurado para recibir una primera porción de la señal de datos de flujo descendente; y un remodulador óptico de enlace ascendente (30) configurado para recibir una segunda porción de la señal de datos de flujo descendente y remodularla para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero; y  
 10 un enlace óptico (40, 66, 70, 82) acoplado entre el terminal de línea óptico y la unidad de red óptica y configurado para transmitir señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente entre ellos.
- 15 2. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso comprende impulsos oscuros que tienen un ciclo de trabajo de aproximadamente 50%.
- 20 3. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el remodulador óptico de enlace ascendente (30) comprende un modulador electro-óptico (32) configurado para ser controlado por una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero (34).
- 25 4. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el remodulador óptico de enlace ascendente (30) está codificado tanto para remodular como para amplificar la citada segunda porción de la señal de datos de flujo descendente para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero.
- 30 5. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el remodulador óptico de enlace ascendente (30) comprende un amplificador óptico de semiconductores reflexivo (32) configurado para ser controlado por una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero (34).
- 35 6. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el amplificador óptico de semiconductores reflexivo (32) es operable mediante la recepción de un impulso oscuro (72) que tiene un borde de ataque (72a) del impulso y una cola (72b) del impulso para suprimir la cola del impulso oscuro con el fin de formar un cero lógico para la señal de datos de flujo ascendente o para amplificar la cola del impulso oscuro con el fin de formar un uno lógico, y es operable mediante la recepción de un impulso luminoso para suprimir medio impulso con el fin de formar un uno lógico o para suprimir todo el impulso con el fin de formar un cero lógico.
- 40 7. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con las reivindicaciones 5 ó 6, en el que el amplificador óptico de semiconductores reflexivo (32) está configurado para operar fuera de su régimen de saturación para potencias de entrada en el nivel de potencia óptica de la segunda porción de la señal de datos de flujo descendente.
- 45 8. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la unidad de red óptica (26, 100) comprende también un aparato de sincronización de señal (36) configurado para intercalar la señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero mediante medio bit con respecto a la señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso.
- 50 9. Un sistema de red óptica pasiva de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el aparato de sincronización de señal comprende una línea de retardo óptico (36) proporcionada entre el enlace óptico (40, 70, 82) y el remodulador óptico de enlace ascendente (30).
- 55 10. Un sistema de red óptica pasiva (50, 80) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema de red óptica pasiva comprende una pluralidad de unidades de red ópticas (26), estando el enlace óptico (66, 70, 82) acoplado entre el terminal de línea óptico (60) y cada una de las unidades de red ópticas.
- 60 11. Una unidad de red óptica (26, 100) que comprende:  
 un receptor óptico de enlace descendente (28) configurado para recibir una primera porción de una señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso; y  
 un remodulador óptico de enlace ascendente (30) configurado para recibir una segunda porción de la señal de datos de flujo descendente y remodularla para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero.

12. Una unidad de red óptica de acuerdo con la reivindicación 11, en la que el remodulador óptico de enlace ascendente (30) comprende un modulador electro-óptico (32) configurado para ser controlado mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero (34).
- 5 13. Una unidad de red óptica de acuerdo con las reivindicaciones 11 ó 12, en la que el remodulador óptico de enlace ascendente (30) está configurado tanto para remodular como para amplificar la citada porción de sección de la señal de datos de flujo descendente para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero.
- 10 14. Una unidad de red óptica de acuerdo con la reivindicación 13, en la que el remodulador óptico de enlace ascendente (30) comprende un amplificador óptico de semiconductores reflexivo (32) configurado para ser controlado mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero (34).
- 15 15. Una unidad de red óptica de acuerdo con la reivindicación 14, en la que el amplificador óptico de semiconductores reflexivo (32) es operable mediante la recepción de un impulso oscuro (72) que tiene un borde de ataque (72a) del impulso y una cola (72b) del impulso para suprimir la cola del impulso oscuro con el fin de formar un cero lógico para la señal de datos de flujo ascendente o para amplificar la cola del impulso oscuro con el fin de formar un uno lógico, y es operable mediante la recepción de un impulso luminoso para suprimir medio impulso con el fin de formar un uno lógico o para suprimir todo el impulso con el fin de formar un cero lógico.
- 20 16. Una unidad de red óptica de acuerdo con las reivindicaciones 14 ó 15, en la que el amplificador óptico de semiconductores reflexivo (32) está configurado para operar fuera de su régimen de saturación para potencias de entrada en el nivel de potencia óptica de la segunda porción de la señal de datos de flujo descendente.
- 25 17. Una unidad de red óptica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, en la que la unidad de red óptica (26) comprende también un aparato de sincronización de señal (36) configurado para intercalar la señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero mediante medio bit con respecto a la señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso.
- 30 18. Una unidad de red óptica de acuerdo con la reivindicación 17, en la que el aparato de sincronización de señal comprende una línea de retardo óptica (36) proporcionada entre el enlace óptico (40) y el remodulador óptico de enlace ascendente (30).
- 35 19. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva (100) que comprende: generar una señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso (102); y recibir una porción de la señal de datos de flujo descendente (110) y remodularla (114, 116, 118, 120, 122, 124) para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero.
- 40 20. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con la reivindicación 19, en el que la señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso comprende impulsos oscuros que tienen un ciclo de trabajo de aproximadamente cincuenta por ciento.
- 45 21. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con las reivindicaciones 19 ó 20 en el que la remodulación (114, 116, 118, 120, 122, 124) de la porción de la señal de datos de flujo descendente se lleva a cabo proporcionando la porción de la señal de datos de flujo descendente a un modulador electro-óptico (32) y controlando el modulador electro-óptico mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero (34).
- 50 22. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 21, en el que el método de codificación en línea comprende remodular y amplificar (114, 116, 118, 120, 122, 124) la porción de señal de datos de flujo descendente para generar una señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero.
- 55 23. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con la reivindicación 22, en el que la remodulación y amplificación de la porción de la señal de datos de flujo descendente se lleva a cabo proporcionando la porción de la señal de datos de flujo descendente a un amplificador óptico de semiconductores reflexivo (110) y controlando el amplificador óptico de semiconductores reflexivo mediante una señal de datos electrónica codificada en retorno a cero (114, 116, 118, 120, 122, 124).
- 60 24. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 23, en el que la señal de datos de flujo ascendente remodulada (126) es generada, a la recepción de un impulso oscuro (72, 112, 114) que tiene un borde de ataque (72a) del impulso y una cola (72b) del impulso, siendo la cola del impulso oscuro suprimida con el fin de formar un cero lógico (118) para la señal de datos de flujo ascendente o siendo amplificada (116) con el fin de formar un uno lógico y, a la recepción de un impulso luminoso (112, 120),

siendo medio impulso suprimido con el fin de formar un uno lógico (122) o siendo todo el impulso suprimido con el fin de formar un cero lógico (124).

- 5 25. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 19 a 24, en el que el método de codificación comprende también intercalar la señal de datos de flujo ascendente codificada en línea en retorno a cero mediante medio bit respecto a la señal de datos de flujo descendente codificada en línea en retorno a cero inverso (108).
- 10 26. Un método de codificación en línea de red óptica pasiva de acuerdo con la reivindicación 25, en el que la sincronización de las señales de datos de flujo descendente y de flujo ascendente para el intercalado es llevada a cabo introduciendo un retardo óptico a la porción de la señal de datos de flujo descendente que va a ser remodulada (108).

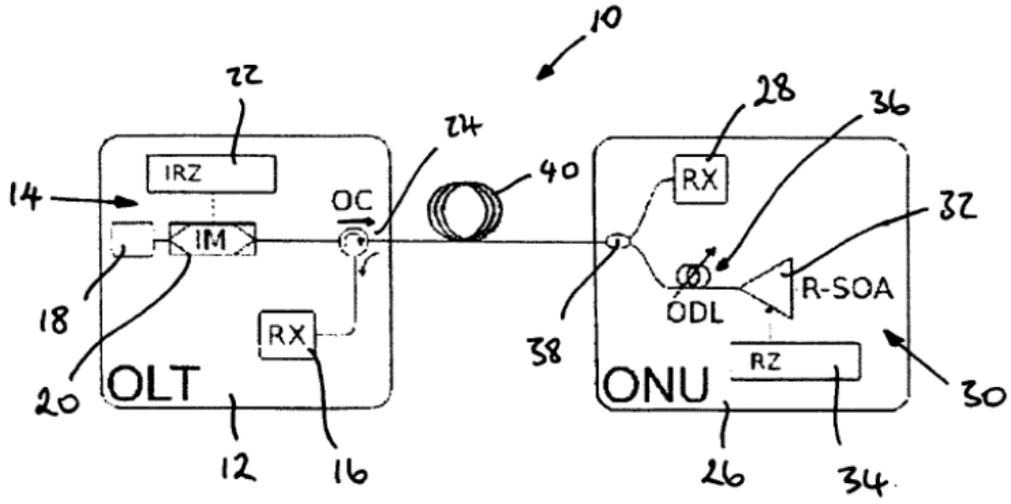


Fig. 1

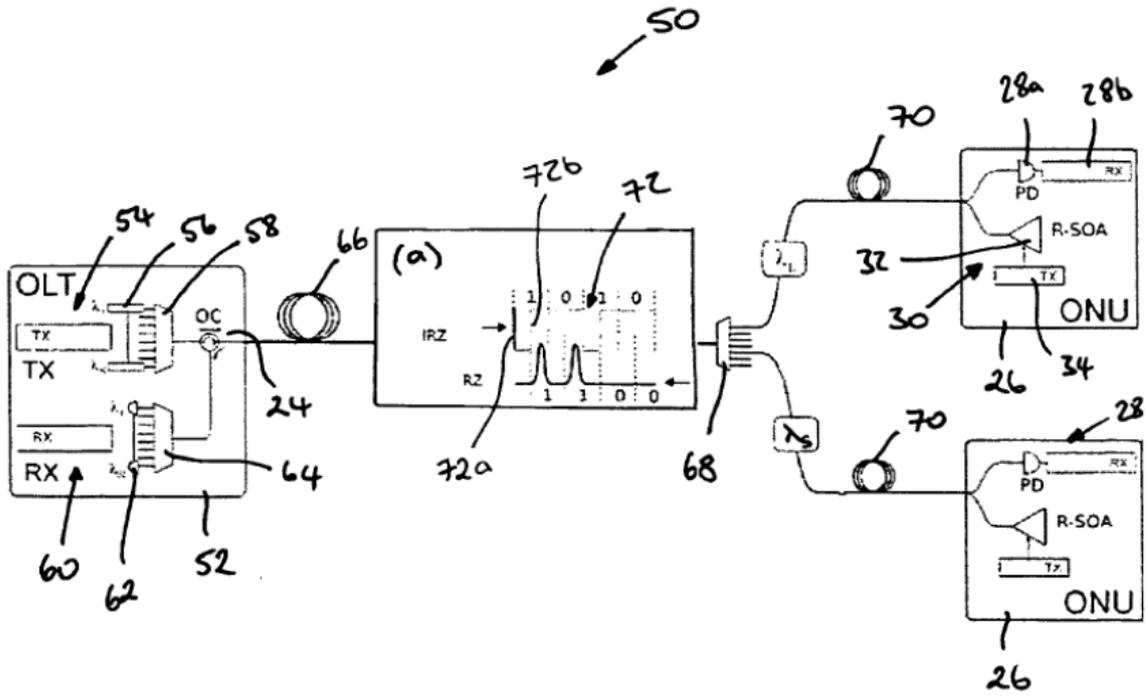


Fig. 2

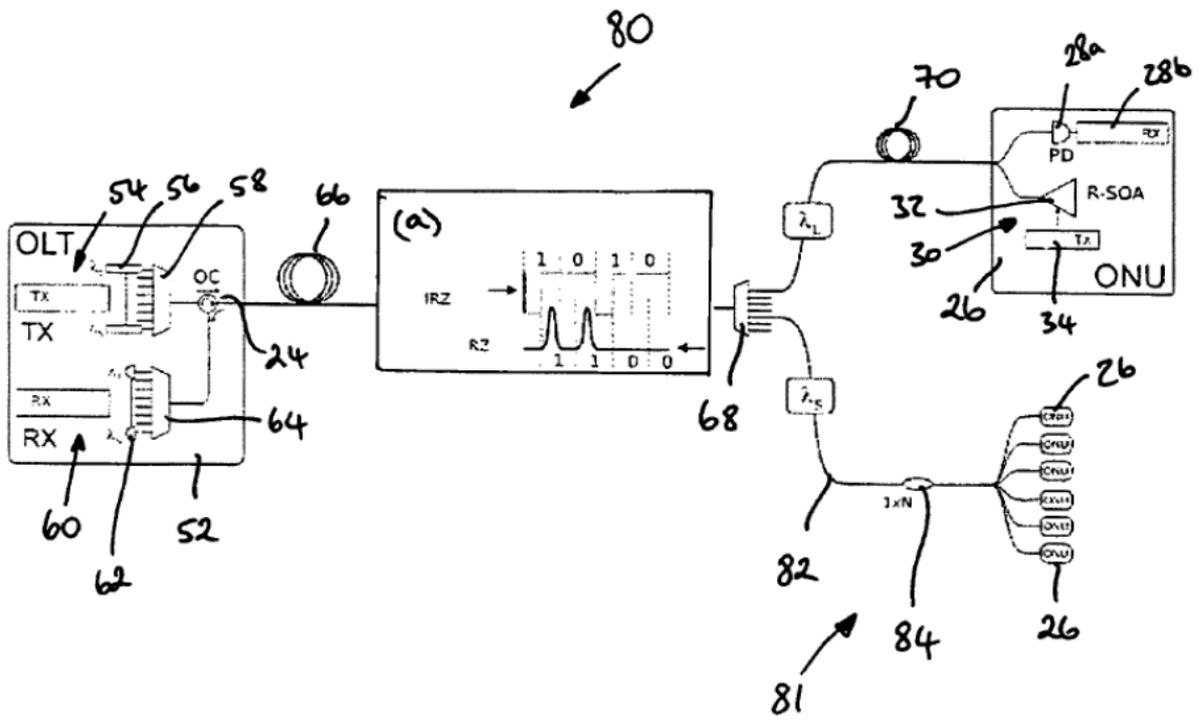


Fig. 3

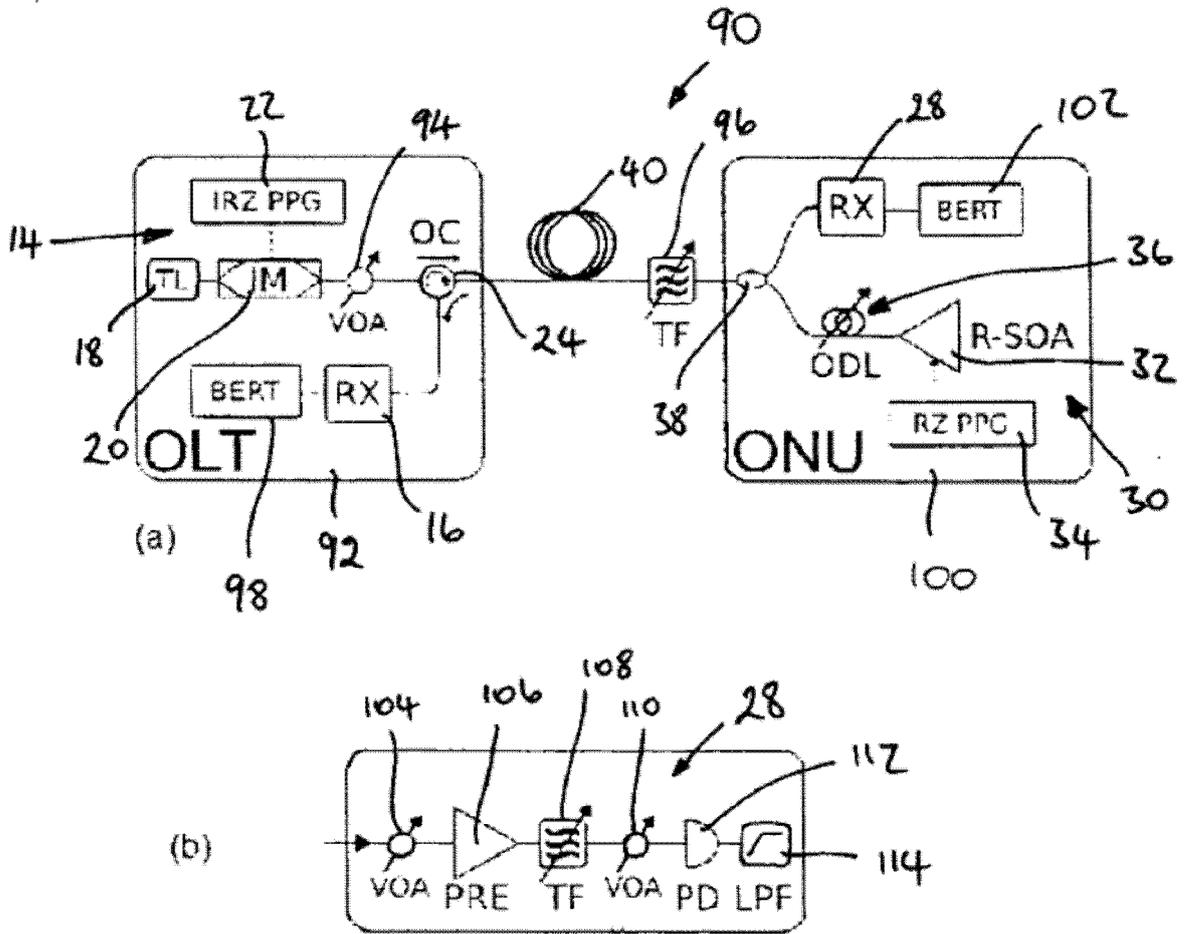


Fig. 4

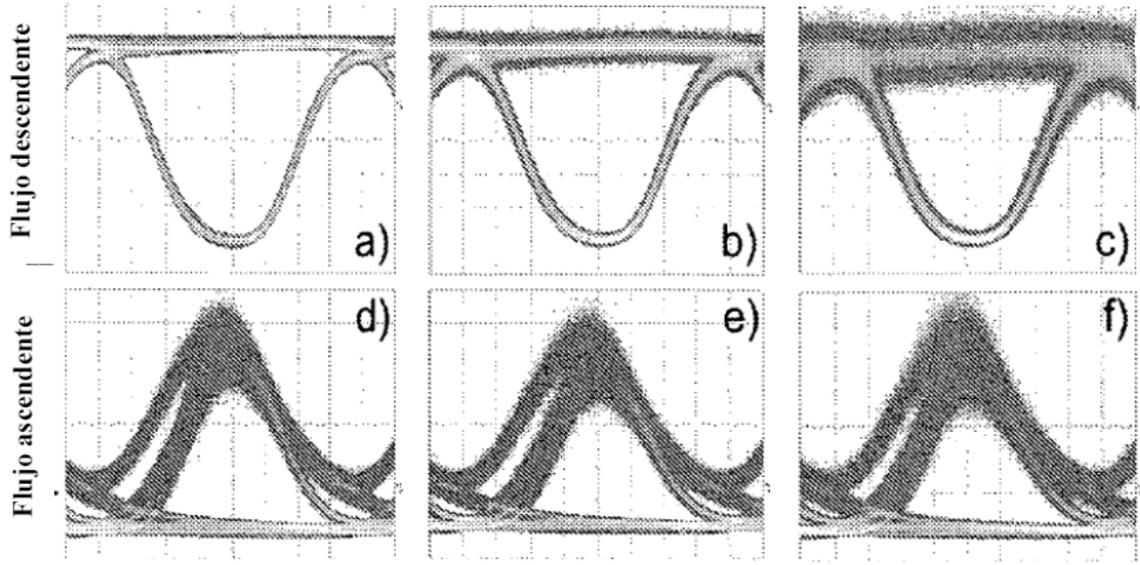


Fig. 5

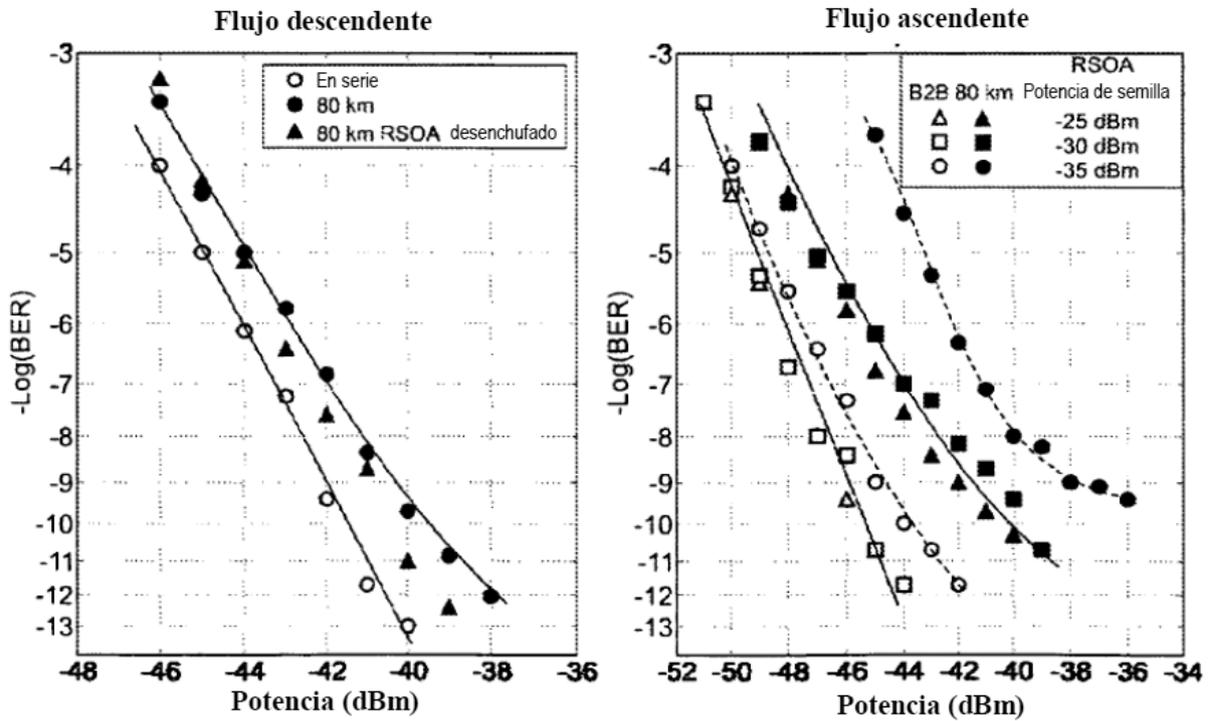


Fig. 6

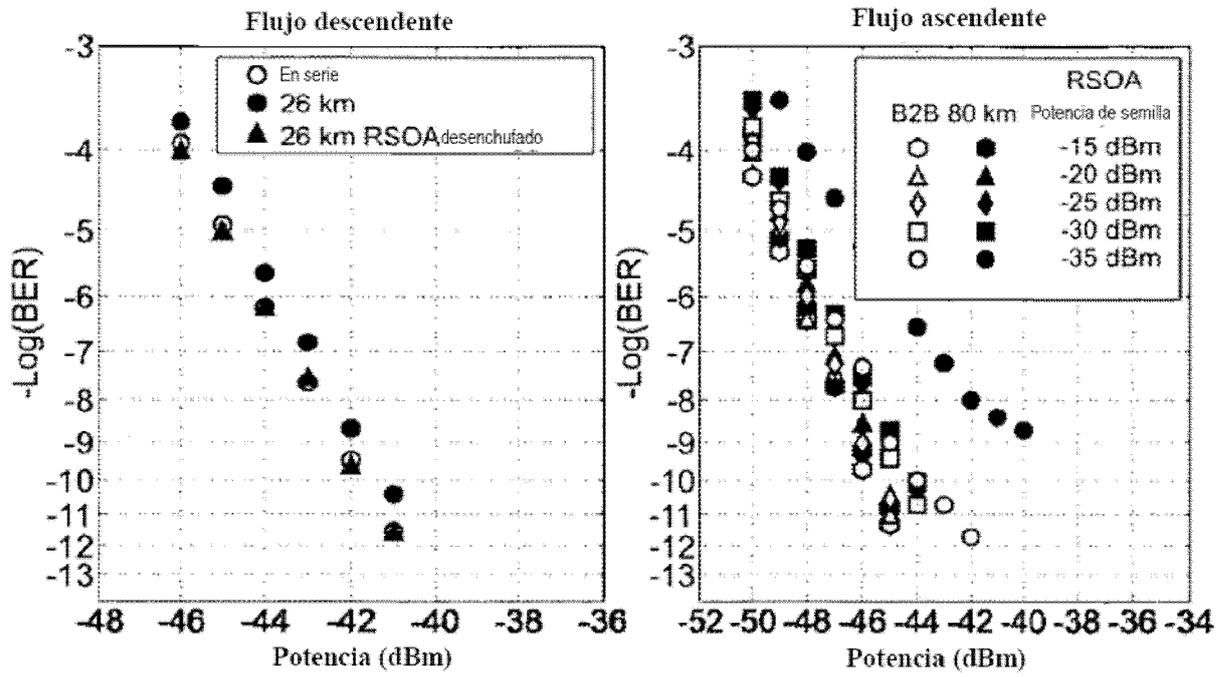


Fig. 7

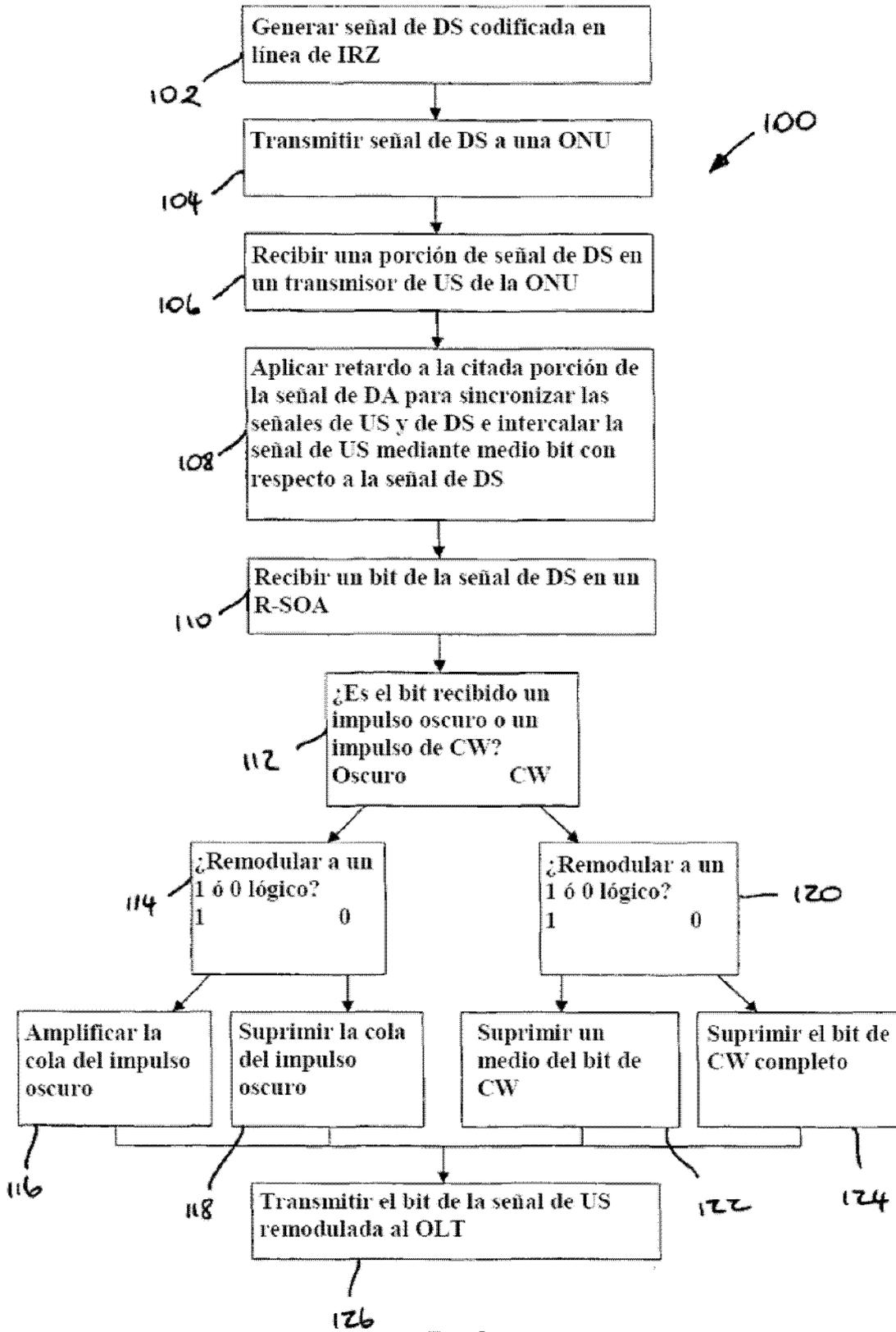


Fig. 8