



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 571**

51 Int. Cl.:
H04B 10/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05745229 .4**

96 Fecha de presentación : **11.05.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1714410**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.10.2006**

54

Título: **Sistema y método para la compensación automática de dispersión cromática.**

30

Prioridad: **12.05.2004 US 845203**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.05.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.05.2011

73

Titular/es: **HUAWEI TECHNOLOGIES Co., Ltd.**
Huawei Administration Building
Bantian Longgang District
Shenzhen, Guangdong Province 518129, CN

72

Inventor/es: **Bai, Yusheng y**
Zhang, Rong

74

Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 359 571 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

Sistema y método para la compensación automática de dispersión cromática

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere, en general, a técnicas de telecomunicaciones. Más concretamente, la invención da a conocer un método y sistema para la compensación automática de dispersión cromática. Simplemente a modo de ejemplo, la invención se describe tal como se aplica a las redes ópticas, pero debe reconocerse que la invención presenta un más amplio alcance de aplicabilidad.

Antecedentes de la invención

10 Las técnicas de las telecomunicaciones han progresado a través de los años. Simplemente a título de ejemplo, las redes ópticas se han utilizado para las telecomunicaciones convencionales en la transferencia de voz y otras aplicaciones. Las redes ópticas pueden transmitir múltiples señales de diferentes capacidades. Por ejemplo, las redes ópticas terminan señales, señales de multiplexión desde una más baja velocidad a una más alta velocidad, señales de comunicación y señales de transporte en las redes en función de las definiciones pertinentes.

15 En las comunicaciones ópticas, una señal óptica se puede transmitir a larga distancia, tal como centenares o incluso miles de kilómetros, en enlaces de fibras ópticas de tipo monomodo. Una propiedad importante de las fibras ópticas es la dispersión cromática, es decir, que diferentes componentes espectrales de la señal se desplazan a diferente velocidad en las fibras ópticas. La dispersión cromática puede ensanchar los impulsos de señales y limitar la distancia de la transferencia. Por ejemplo, una fibra monomodo (SMF) presenta una dispersión cromática de $17 \text{ ps}/(\text{nm} \times \text{km})$ a una longitud de onda de la señal de 1550 nm. Si la anchura espectral de la señal es 0,1 nm, los impulsos de la señal llegarán a ser de 170 ps más anchos después de una distancia de transferencia de 100 km. Para las transmisiones a alta velocidad a una tasa de transferencia de 1 gigabit por segundo, los periodos de bits son solamente de unos pocos centenares de picosegundos o incluso unas pocas décimas de picosegundos, por lo que dicho ensanchamiento puede degradar, en gran medida, las propiedades de detección de la señal.

20 El ensanchamiento del pulso está relacionado con la anchura espectral de la señal óptica y la dispersión de la fibra óptica. Para mejorar la distancia de transferencia limitada por la dispersión, es conveniente estrechar la anchura espectral de la señal óptica. Algunos emisores utilizan láseres de diodos semiconductores directamente modulados (DMLs) para generar una señal óptica. Los láseres DML suelen introducir modulaciones de frecuencias adicionales a la señal óptica, tal como un cambio de frecuencia con el tiempo en la parte superior de la señal modulada en intensidad y con el correspondiente ensanchamiento del espectro de la señal. El ensanchamiento del espectro de la señal puede reducir, a su vez, la distancia de transferencia limitada por la dispersión. Por el contrario, otros emisores utilizan láseres de diodos semiconductores de onda continua (CW) y modulares externos de pequeño cambio de frecuencia con el tiempo, que introducen menos ensanchamiento espectral.

30 La anchura espectral de una señal óptica, libre de cambio de frecuencia con el tiempo, se proporciona por el límite de la transformada de Fourier. La anchura espectral es aproximadamente igual a la inversa de la duración del pulso mínimo o igual a la tasa de transferencia de datos. Por ejemplo, una señal binaria de no retorno a cero (NRZ) presenta una tasa de transferencia de datos de 10 Gbps y la duración mínima del pulso de 100 ps. La anchura espectral es de aproximadamente 10 GHz o 0,08 nm. Si la señal transmite a una distancia de 70 km en una fibra monomodo (SMF) con una dispersión acumulativa de 1200 ps/nm, los impulsos de la señal se ensancharía en aproximadamente 100 ps. Este ensanchamiento es aproximadamente igual al periodo de bits. De este modo, la distancia de transferencia limitada por la dispersión de una señal óptica NRZ, libre de cambio de frecuencia con el tiempo, de 10 Gbps es pax 70 km en SMF.

35 Para transmitir más allá de la distancia de transferencia limitada por la dispersión, se suele requerir la compensación de la dispersión. Un método convencional para compensar la dispersión cromática, en las fibras ópticas, utiliza la fibra de compensación de dispersión (DCF), que presenta una dispersión cromática negativa. Por ejemplo, segmentos de DCF se insertan en líneas de transferencia entre intervalos de fibras individuales en nodos en donde se realizan otros procedimientos de transferencia. Estos procedimientos de transferencia pueden comprender la amplificación óptica y la adición/supresión de canales ópticos. El valor de dispersión negativo de DCF, en cada nodo, se selecciona de modo que la dispersión total acumulativa en el nodo sea próxima a cero. Además, al final de la transferencia, inmediatamente antes del receptor, la dispersión acumulativa debe presentar un valor óptimo en donde la distorsión de la señal sea mínima. Por ejemplo, en el límite de la transferencia lineal de una señal, libre de cambio de frecuencia con el tiempo, este valor óptimo es igual a cero. Cuando se tiene en cuenta otros factores, el valor óptimo puede desplazarse alejándose de cero.

Debido a variaciones en las rutas de fibras, la dispersión acumulativa real, para cualquier línea de transferencia compensada dada, puede variar en una gran medida. Las desviaciones respecto al valor óptimo

de la dispersión acumulativa pueden causar degradaciones para el rendimiento del receptor. La tolerancia de un sistema de transferencia a dichas desviaciones se denomina tolerancia de compensación de dispersión o tolerancia de dispersión. El valor óptimo para la dispersión acumulativa se refiere como el centro de la ventana de tolerancia de dispersión.

5 Numerosos factores pueden causar desviaciones respecto a la dispersión acumulativa óptima. Entre ellos pueden citarse la longitud de una separación de fibra, la dispersión de una fibra de transferencia y la dispersión de una fibra compensadora de la dispersión. Por ejemplo, cortes y reparaciones imprevistos de fibras pueden cambiar el valor de la dispersión acumulativa. Un cambio de 20 km en la longitud de una fibra monomodo puede desplazar la dispersión acumulativa entre 340 ps/nm. Además, la dispersión de la fibra resulta afectada por la temperatura y el envejecimiento.

10 En transmisiones de multiplexión por división de longitud de onda (DWDM) densas, se complica la dispersión cromática y su compensación. La dispersión de las fibras suele depender de la longitud de onda y la pendiente de dispersión suele ser de aproximadamente $0,05-0,09 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \times \text{km})$. Para las transmisiones de DWDM, las fibras de compensación de dispersión (DCF) deberían presentar, normalmente, pendientes de dispersión negativas. Las variaciones en las pendientes de dispersión se suelen limitar al 10%, lo que significa que las pendientes de la dispersión, en líneas de transferencia, sólo pueden compensarse hasta un 90%. Para una línea de transferencia de 1000 km, la variación de dispersión acumulativa a través de una ventana de transferencia de DWDM, tal como desde 1530 nm a 1562 nm en la banda C, podría variar en

$$0,09 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \times \text{km}) \times 32 \text{ nm} \times 1000 \text{ km} \times 10 \% = 288 \text{ ps}/\text{nm} \text{ (Ecuación 1)}$$

20 En otro ejemplo, algunas fibras DCF de bajo coste pueden proporcionar solamente una compensación de pendiente del 60%; en consecuencia, la variación de la dispersión acumulativa aumenta a 1152 ps/nm.

25 Con el fin de mejorar la compensación de la dispersión, se han propuesto compensadores de la dispersión óptica regulables. Por ejemplo, un compensador de dispersión óptica regulable es similar a una fibra de compensación de dispersión con una longitud variable. La variación de la longitud puede ser continua o en pasos que ajusten el valor de la dispersión acumulativa. Cuando se utiliza, el valor de la dispersión acumulativa se puede ajustar para reducir al mínimo la distorsión de las señales recibidas. Si un compensador de dispersión óptica regulable presenta un alcance suficiente, el compensador se puede ajustar para obtener una dispersión acumulativa total para optimizar el rendimiento del receptor. El alcance de la dispersión regulable varía con el mecanismo subyacente del compensador de la dispersión. En condiciones normales, los compensadores de dispersión óptica regulables, con grandes márgenes de ajuste, son voluminosos y de alto coste.

35 A modo de otro ejemplo, los compensadores de dispersión electrónicos pueden proporcionar una compensación de dispersión regulable. Por ejemplo, un compensador de dispersión electrónico reestablece, después de la conversión óptica a eléctrica, la señal recibida distorsionada por la dispersión. Después del reestablecimiento de la señal, la ventana de tolerancia de la dispersión se hace de mayor anchura, pero el centro de la ventana de tolerancia de la dispersión sigue siendo el mismo. Puesto que la dispersión se produce en el dominio óptico, pero la compensación se realiza en el dominio electrónico, la compensación suele estar muy limitada. Por ejemplo, los compensadores de dispersión electrónicos pueden aumentar la anchura de la ventana de tolerancia de dispersión en aproximadamente un 50%.

Por consiguiente, es muy deseable mejorar las técnicas para compensar la dispersión cromática en las redes ópticas.

45 El documento US 2003/058508A1 da a conocer un método y aparato para transmitir datos ópticos en un formato de modulación RZ, que comprende el paso de una señal óptica codificada NRZ, de cambio de frecuencia con el tiempo, a través de un elemento dispersivo para hacer que la luz se aglutine en paquetes centrados en un ciclo de reloj respectivo.

El documento US 2003/219259A1 da a conocer un aparato de modulación de datos que comprende un modulador de datos para modular los datos en una señal óptica a una tasa de bits predeterminada.

Sumario de la invención

50 La presente invención se refiere, en general, a técnicas de telecomunicaciones. Más en particular, la invención da a conocer un método y sistema para la compensación automática de la dispersión cromática. Simplemente a modo de ejemplo, la invención se describe tal como se aplica a las redes ópticas, pero debe reconocerse que la invención presenta un más amplio margen de aplicabilidad.

55 Según una forma de realización de la presente invención, un aparato para transmitir una señal para aplicaciones de redes ópticas, que comprende un emisor adaptativo óptico comprende:

una fuente de señal configurada para generar una señal de no retorno a cero;

un sistema de recuperación de datos y de señales de reloj configurado para recibir la señal de no retorno a cero y generar la señal excitadora de láser y una señal de control de datos;

un controlador de transferencia de datos configurado para recibir la señal de control de datos y generar la señal de excitación de la transferencia de datos;

5 una fuente de luz configurada para generar una señal láser en respuesta a una señal excitadora de láser;

un modulador de datos configurado para recibir la señal de láser y una señal excitadora de transferencia de datos y presentar a la salida una señal de retorno a cero con cambio de frecuencia con el tiempo;

10 un sistema de control configurado para recibir una señal de realimentación y proporcionar a la salida una señal de control de láser en respuesta a la señal de realimentación;

15 un sistema de ajuste configurado para recibir la señal de control de láser y la señal excitadora de láser y ajustar la magnitud de la corriente de excitación, o la tensión de excitación, o la potencia RF de excitación de la señal de excitación de láser en respuesta a la señal de control de láser en tanto que ajuste la magnitud del cambio de frecuencia con el tiempo, en una señal CRZ, en respuesta a las variaciones en la dispersión acumulativa, en rutas de fibras de compensación de dispersión.

20 Según otra forma de realización de la presente invención, un sistema para transmitir una señal para aplicaciones de redes ópticas comprende un primer emisor adaptativo óptico configurado para presentar a la salida una primera señal de retorno a cero asociada con un primer cambio de frecuencia con el tiempo, un segundo emisor adaptativo óptico configurado para proporcionar a la salida una segunda señal de retorno a cero con cambio de frecuencia con el tiempo, asociada con un segundo cambio de frecuencia con el tiempo y un sistema de multiplexión configurado para recibir al menos la primera señal de retorno a cero con cambio de frecuencia con el tiempo y la segunda señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo y generar una señal óptica multiplexada. Además, el sistema comprende un sistema de transferencia óptica configurado para recibir la señal óptica multiplexada y un sistema demultiplexor acoplado al sistema de transferencia óptica y configurado para generar al menos una primera señal óptica y una segunda señal óptica. La primera señal óptica está asociada con la primera señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo y la segunda señal óptica está asociada con la segunda señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo. Además, el sistema comprende un primer receptor óptico configurado para recibir la primera señal óptica y un segundo receptor óptico configurado para recibir la segunda señal óptica. El primer receptor óptico está configurado, además, para generar una primera señal de realimentación asociada con una primera característica relacionada con la primera señal óptica y el primer emisor óptico está configurado, además, para recibir la primera señal de realimentación, procesar la información asociada con la primera señal de realimentación y reajustar el primer cambio de frecuencia con el tiempo basado en al menos la información asociada con la primera señal de realimentación.

Según otra forma de realización de la presente invención, un método de compensación automática de la dispersión para transmitir una señal para aplicaciones de redes ópticas, comprendiendo dicho método:

la recepción de una señal de realimentación;

el suministro a la salida de una señal de control de láser en respuesta a la señal de realimentación;

40 la generación de una señal de no retorno a cero;

la recepción de la señal de no retorno a cero;

la generación de una señal de excitación de láser y una señal de control de datos en respuesta a la señal de no retorno a cero;

la recepción de la señal excitadora de láser y la señal de control de láser;

45 el ajuste de la magnitud de la corriente de excitación, o de la tensión de excitación o de la potencia RF de excitación de la señal excitadora de láser en respuesta a la señal de control de láser en tanto que ajuste la magnitud del cambio de frecuencia con el tiempo, en una señal CRZ, en respuesta a las variaciones en la dispersión acumulativa en rutas de fibras compensadas en dispersión;

la recepción de la señal excitadora de láser;

50 la generación de una señal de láser en respuesta a la señal de excitación de láser;

la recepción de la señal de control de datos;

la generación de una señal de excitación de transferencia de datos en respuesta a la señal de control de datos;

la recepción de la señal de láser y de la señal de excitación de transferencia de datos;

la generación de una señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo en respuesta a la señal de láser y la señal de excitación de transferencia de datos.

5 Según otra forma de realización de la presente invención, se da a conocer un método de compensación automática de la dispersión para transmitir una señal, para aplicaciones de redes ópticas, que comprende proporcionar a la salida una primera señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo, asociada con un primer cambio de frecuencia con el tiempo, proporcionar a la salida una segunda
10 señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo, asociada con un segundo cambio de frecuencia con el tiempo, la recepción de al menos la primera señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo y la segunda señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo y la generación de una señal óptica multiplexada, en respuesta a por lo menos la primera señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo y la segunda señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo. Además, el método comprende la recepción de la señal óptica multiplexada y la generación de al menos una
15 primera señal óptica y una segunda señal óptica en respuesta a la señal óptica multiplexada. La primera señal óptica está asociada con la primera señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo y la segunda señal óptica está asociada con la segunda señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo. Además, el método comprende la recepción de la primera señal óptica, la recepción de la segunda señal óptica, la generación de una primera señal de realimentación asociada con una primera característica relacionada con la primera señal óptica, la recepción de la primera señal de realimentación, el procesamiento de la información asociada con la primera señal de realimentación y el ajuste del primer cambio de frecuencia con el tiempo, basado en al menos la información asociada con la primera señal de realimentación.

20 Según otra forma de realización de la presente invención, se da a conocer un medio de soporte legible por ordenador que comprende instrucciones para transmitir para aplicaciones de redes ópticas. El medio de soporte legible por ordenador comprende una o más instrucciones para proporcionar a la salida una primera señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo, asociada con un primer cambio de frecuencia con el tiempo, una o más instrucciones para proporcionar a la salida una segunda señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo, asociada con un segundo cambio de frecuencia con el tiempo, una o más instrucciones para recibir al menos la primera señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo y la segunda señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo, y una o más
25 instrucciones para generar una señal óptica multiplexada en respuesta a por lo menos la primera señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo, y la segunda señal de retorno a cero, de cambio de frecuencia con el tiempo. Además, el medio de soporte legible por ordenador comprende una o más instrucciones para recibir la señal óptica multiplexada y una o más instrucciones para generar al menos una primera señal óptica y una segunda señal óptica en respuesta a la señal óptica multiplexada. La primera señal óptica está asociada con la primera señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo y la segunda señal óptica está asociada con la segunda señal de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo. Además, el medio de soporte legible por ordenador comprende una o más instrucciones para recibir la primera señal óptica, una o más instrucciones para recibir la segunda señal óptica, una o más instrucciones para generar una primera señal de realimentación, asociada con una primera característica relacionada con la primera señal óptica, una o más instrucciones para recibir la primera señal de realimentación, una o más instrucciones para procesar la información asociada con la primera señal de realimentación y una o más instrucciones para ajustar el primer cambio de frecuencia con el tiempo basado en por lo menos la información asociada con la primera señal de realimentación.

30 Numerosas ventajas operativas se consiguen por intermedio de la presente invención con respecto a las técnicas convencionales. Algunas formas de realización de la presente invención dan a conocer un método y sistema para aumentar la tolerancia a la dispersión cromática en sistemas de transferencia de fibra óptica de largo alcance extendido o en otros sistemas de transferencia de fibra óptica, en donde la tolerancia a la dispersión está reducida, en gran medida, debido a las faltas de linealidad de las fibras. Algunas formas de realización de la presente invención dan a conocer un método y sistema para generar señales ópticas que se adaptan eléctricamente a la dispersión cromática residual en enlaces de transferencia de fibra óptica compensados en dispersión, de modo que las señales experimentan distorsiones mínimas en los receptores. Algunas formas de realización de la presente invención ajustan la magnitud del cambio de frecuencia con el tiempo, en una señal CRZ, en respuesta a las variaciones en la dispersión acumulativa en rutas de fibras compensadas en dispersión. El ajuste se realiza cambiando la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación para un láser directamente modulado en un emisor. Algunas formas de realización de la presente invención utilizan un dispositivo de control del rendimiento en el lado del receptor. El dispositivo de control del rendimiento genera una señal de salida que se puede utilizar como realimentación para controlar la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación para un láser directamente modulado en un emisor y por lo tanto, optimizar el rendimiento de un sistema de transferencia. Algunas formas de realización de la presente invención proporcionan una capacidad para desplazar el centro de la ventana de tolerancia de dispersión y por lo tanto, aumentar la tolerancia del sistema a variaciones en la dispersión acumulativa. Algunas formas de realización de la presente invención pueden reducir los costes y los tamaños de los sistemas de compensación de dispersión adaptativos. Otras formas de realización de la presente invención pueden ajustar el centro de la ventana de tolerancia de la dispersión y por consiguiente,

una más amplia compensación de la dispersión.

Varios objetivos, características y ventajas adicionales de la presente invención se pueden apreciar más concretamente haciendo referencia a la descripción detallada y dibujos adjuntos siguientes.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La Figura 1 es una representación de una tolerancia a la dispersión convencional simplificada para una señal NRZ;
- La Figura 2 representa un sistema de transferencia DWDM convencional simplificado;
- La Figura 3 representa un sistema de transferencia DWDM convencional simplificado con compensadores de dispersión óptica regulables;
- 10 La Figura 4 representa un receptor convencional simplificado con un compensador de dispersión electrónico regulable;
- La Figura 5 representa un emisor NRZ convencional simplificado;
- La Figura 6 es un emisor CRZ simplificado;
- La Figura 7 representa tolerancias a la dispersión simplificadas para señales CRZ;
- 15 La Figura 8 representa una relación simplificada entre el centro de la ventana de tolerancia de dispersión y la potencia excitadora de RF para señales de DML para CRZ;
- La Figura 9 representa una tolerancia a la dispersión simplificada para señal CRZ a partir de un emisor CRZ adaptativo;
- 20 La Figura 10 representa un sistema de transferencia DWDM simplificado según una forma de realización de la presente invención;
- La Figura 11 representa un emisor adaptativo simplificado según una forma de realización de la presente invención;
- La Figura 12 representa un receptor simplificado según una forma de realización de la presente invención;
- 25 La Figura 13 representa un método simplificado para la compensación automática de la dispersión cromática, según una forma de realización de la presente invención.

Formas de realización de la invención

- 30 La presente invención se refiere, en general, a técnicas de telecomunicaciones. Más en particular, la invención da a conocer un método y sistema para la compensación automática de la dispersión cromática. A título de ejemplo, la invención se describe tal como se aplica a redes ópticas, pero debe reconocerse que la invención tiene un más amplio alcance de aplicabilidad.

- 35 El límite de dispersión para una señal NRZ de 10 Gbps libre de cambio de frecuencia con el tiempo, suele ser de aproximadamente 1200 ps/nm, con fibra de compensación de la dispersión (DCF). Con DCF, la dispersión acumulativa total puede ser tanto negativa como positiva. El margen de tolerancia de dispersión se expande, de este modo, a ± 1200 ps/nm y la tolerancia a la dispersión total llega a ser de 2400 ps/nm.

- 40 La Figura 1 representa una tolerancia a la dispersión convencional simplificada para una señal NRZ. Este diagrama es solamente un ejemplo, que no debe limitar indebidamente el alcance de protección de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. La señal NRZ se puede modular externamente. La tolerancia de dispersión se mide por la relación de señal a ruido óptica (OSNR) mínima requerida por un receptor para una tasa de error binaria (BER) fija de 10^{-5} como una función de la dispersión acumulativa. Según se representa por la curva 110 en la Figura 1, la tolerancia a la penalización de la relación de señal a ruido óptica (OSNR) de 1 dB es ± 700 ps/nm y la tolerancia a penalización de OSNR de 2 dB es ± 1.100 ps/nm.

- 45 En el límite lineal, la transferencia de la señal NRZ de 10 Gbps, libre de cambio de frecuencia con el tiempo, la penalización por dispersión cromática se puede reducir mediante compensaciones de la dispersión periódicas con DCF de longitud fija en enlaces de fibras. No obstante, después de la transferencia a larga distancia, lo efectos no lineales en las fibras ópticas pueden reducir, en gran medida, la tolerancia a la dispersión y aumentar también en gran medida la dificultad de la compensación de la dispersión. Por ejemplo, la modulación de autofase (SPM) puede impactar, de forma significativa, sobre la tolerancia al dispositivo de
- 50 un sistema de transferencia. La SPM se suele producir por el efecto de Kerr, en virtud del cual el índice de refracción efectivo de una fibra óptica cambia por la intensidad de una señal óptica. Por consiguiente, la

velocidad de fase de una señal óptica modulada en intensidad es distinta en las diferentes secciones temporales de la señal. Por ejemplo, las secciones de alta intensidad que representan los niveles lógicos "1" experimentan una menor velocidad de fase que las secciones de baja intensidad que representan los niveles lógicos "0". Después de la transferencia, existe un desplazamiento de fase óptica, Φ_{SPM} , entre las dos secciones.

5

Desde un punto de vista matemático, el desplazamiento de fase inducido por la intensidad de la señal se describe por

$$\phi_{SPM}(t) = \gamma \times P(t) \times L_{EFF} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

10 en donde γ es el coeficiente de acoplamiento no lineal, que depende del tipo de fibra óptica. $P(t)$ es la potencia de señal óptica de lanzamiento que penetra en la fibra óptica y L_{EFF} es la longitud efectiva para la interacción no lineal. Por ejemplo, L_{EFF} es aproximadamente 20 km. En otro ejemplo, una fibra monomodo presenta un núcleo de fibra de $80 \mu m^2$. Una señal NRZ con una potencia de lanzamiento media de 3 dBm o 2 mW experimentaría un desplazamiento de fase inducido por SPM, Φ_{SPM} , de aproximadamente 0,11 radianes en todos los impulsos de nivel lógico "1" procedentes de un intervalo de fibra único. Para la transferencia multi-
15 intervalo, una fibra de compensación de dispersión DCF y un amplificador óptico se insertan al final de cada intervalo para recuperar la señal a su forma original. De este modo, el desplazamiento de fase no lineal se acumulará con cada intervalo y el desplazamiento de fase total.

$$\phi_{SPM}(t) = \gamma \times P(t) \times L_{EFF} \times N_{SPAN} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

20 en donde N_{SPAN} es el número de intervalos de fibras. A los niveles lógicos "0", la intensidad de la señal es más baja y el desplazamiento de fase es más pequeño que a los niveles lógicos "1". De este modo, una modulación de frecuencia, tal como un cambio de frecuencia con el tiempo, se produciría en la sección de transición entre los niveles lógicos "0" y "1". La magnitud de la modulación de frecuencia se proporciona por la derivada en el tiempo de $\Phi_{SPM}(t)$ como sigue.

$$\Delta \nu_{SPM}(t) = -\frac{1}{2\pi} \times \frac{d\phi_{SPM}(t)}{dt} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

25 Por ejemplo, la transferencia de multiplexión por división de longitud de onda (DWDM) densa se realiza en 4 a 5 intervalos de fibras monomodo (SMF). De este modo, la fase no lineal acumulativa puede ser igual a aproximadamente 0,5 radianes. Si el tiempo de subida es aproximadamente 30 ps, aparecería un cambio de frecuencia con el tiempo de -2,7 GHz en el flanco de subida de los impulsos de señales sin tener en cuenta ningún efecto de dispersión. Análogamente, si el tiempo de bajada es aproximadamente 30 ps,
30 aparecería un cambio de frecuencia con el tiempo de +2,7 GHz en el flanco de bajada de los impulsos de señales, sin tener en cuenta ningún efecto de la dispersión. El pequeño ensanchamiento en el ancho de banda espectral suele dar lugar a una ventana de tolerancia a la dispersión sólo ligeramente más estrecha que la ventana para la medición en contra-paralelo.

35 Para la transferencia a larga distancia extendida (ELH), a través de decenas o más de intervalos de fibras, el cambio de frecuencia con el tiempo es importante. Por ejemplo, la transferencia de 2400 km en 30 intervalos de SMF puede causar un desplazamiento de fase de π y un cambio de frecuencia con el tiempo de aproximadamente -16 GHz o +16 GHz en el flanco de subida o de bajada de los impulsos de señales, respectivamente. Las señales ópticas, con dichos cambio de frecuencia con el tiempo de gran magnitud, pueden dar lugar a una ventana notablemente más estrecha en la tolerancia a la dispersión. Por ejemplo,
40 según se describió anteriormente y se representa en la Figura 1, para una señal NRZ libre de cambio de frecuencia con el tiempo, la tolerancia a la dispersión, en conexión anti-paralelo, en una penalización de OSNR de 2 dB es aproximadamente 2200 ps/nm. Después de la transferencia de 2400 km en 30 intervalos de SMF completamente compensados, con una potencia de lanzamiento media de 3,6 dBm, la tolerancia a la dispersión se puede reducir a 600 ps/nm a una penalización de la relación OSNR de 2 dB, según se
45 representa por la curva 120. En algunas aplicaciones, 600 ps/nm es mucho más pequeño que un valor deseado de 1000 ps/nm.

Según se constata también en la Figura 1, el centro de la ventana de tolerancia de dispersión se desplaza a +600 ps/nm. Este desplazamiento depende de la potencia de lanzamiento y de los detalles de la disposición de compensación de la dispersión en línea. Estas condiciones normalmente no se pueden
50 controlar con precisión en la práctica debido a las fluctuaciones de la ganancia en los amplificadores ópticos, inclinaciones de la dispersión de Raman, distancia variable en cada intervalo de fibra y otras cuestiones de ingeniería. El centro de la ventana de tolerancia de dispersión suele variar, de este modo, de forma aleatoria, lo que hace que la ventana de tolerancia de dispersión efectiva sea incluso más pequeña.

Por lo tanto, la tecnología de la transferencia basada en un formato de modulación de NRZ simple puede sufrir, en gran medida, de una ventana de tolerancia a la dispersión efectiva estrecha en la transferencia a larga distancia extendida (ELH). El efecto de SPM acumulativo, en las rutas de fibras ópticas, con un gran número de intervalos, puede reducir la tolerancia de la dispersión de un sistema de transferencia. La tolerancia a la dispersión estrecha suele aumentar la dificultad en el desarrollo de las redes y reducir la fiabilidad de la red debido a variaciones de dispersión acumulativa con el tiempo.

La Figura 2 representa un sistema de transferencia DWDM convencional simplificado. El sistema 200 comprende emisores ópticos 210, un multiplexor de multiplexión por división de longitud de onda (WDM) 220, un sistema de línea de transferencia compensado en dispersión 230, un demultiplexor de WDM 240 y receptores ópticos 250. Los emisores ópticos 210 comprenden emisores ópticos 1, 2, ..., n, en donde n es un número entero positivo. Los transmisores ópticos 210 están conectados al multiplexor de WDM 220. El multiplexor 220 recibe salidas de los emisores ópticos 210 y genera una señal óptica multiplexada. La señal óptica multiplexada se transmite a través del sistema de línea de transferencia compensada en dispersión 230. El sistema de línea de transferencia compensada en dispersión 230 comprende múltiples intervalos y múltiples sistemas de amplificadores ópticos 232. Cada sistema de amplificador óptico está situado entre cada par de intervalos adyacentes y comprende un módulo de compensación de la dispersión fijo 234 y amplificadores 236. Por ejemplo, el módulo de compensación de dispersión fija 234 comprende una fibra de compensación de la dispersión. La señal óptica multiplexada se recibe por el demultiplexor WDM 240 que genera señales ópticas. Las señales ópticas se reciben por los receptores ópticos 250 que comprenden receptores ópticos 1, 2, ..., n y que corresponden a los transmisores ópticos 210, respectivamente, en donde n es un número entero positivo.

La Figura 3 representa un sistema de transferencia DWDM convencional simplificado con compensadores de dispersión óptica regulables. El sistema 300 comprende emisores ópticos 310, un multiplexor de WDM 320, un sistema de línea de transferencia compensado en dispersión 330, un demultiplexor de WDM 340, compensadores de dispersión regulables 360 y receptores ópticos 350. Los emisores ópticos 310 comprenden emisores ópticos 1, 2, ..., n en donde n es un número entero positivo. Los emisores ópticos 310 están conectados al multiplexor de WDM 320. El multiplexor 320 recibe salidas de los emisores ópticos 310 y genera una señal óptica multiplexada. La señal óptica multiplexada se transmite a través del sistema de líneas de transferencia compensada en dispersión 330. El sistema de línea de transferencia compensada en la dispersión 330 comprende múltiples intervalos y múltiples sistemas de amplificadores ópticos 332. Cada sistema de amplificador óptico está situado entre cada par de intervalos adyacentes y comprende un módulo de compensación de la dispersión fijo 334 y amplificadores 336. Por ejemplo, el módulo de compensación de la dispersión fijo 334 comprende una fibra de compensación de la dispersión. La señal óptica multiplexada se recibe por el demultiplexor de WDM 340 que genera señales ópticas. Las señales ópticas se reciben por los compensadores de dispersión regulables 360 que comprenden compensadores de la dispersión 1, 2, ..., n. Los compensadores de dispersión regulables 360 proporcionan a la salida señales ópticas a los receptores ópticos 350 que comprenden receptores ópticos 1, 2, ..., n y que corresponden a los emisores ópticos 310 respectivamente, en donde n es un número entero positivo.

La Figura 4 representa un receptor convencional simplificado, con un compensador de dispersión electrónico regulable. El receptor 400 comprende un convertidor óptico a eléctrico (O/E) 410, un compensador de dispersión electrónico regulable (EDC) 420 y un dispositivo de recuperación de datos y señal de reloj (CDR) 430. El receptor 400 recibe una señal óptica y proporciona a la salida una señal de datos.

Algunas formas de realización de la presente invención dan a conocer un emisor adaptativo para ajustar automáticamente un parámetro de modulación, en su señal de salida, en respuesta a la dispersión acumulativa en una ruta de fibras. Estas formas de realización están relacionadas con el desplazamiento del centro de la ventana de tolerancia a la dispersión. Por ejemplo, después de una transferencia a larga distancia del centro de la ventana de tolerancia de dispersión de una señal NRZ se suele desplazar desde prácticamente 0 ps/nm a algún valor de la dispersión acumulativa positivo, según se representa en la Figura 1. Este desplazamiento es característico de la transferencia de pulsos en fibras con dispersión positiva.

Además, estas formas de realización de la presente invención están relacionadas con un efecto descrito en las solicitudes de patente de Estados Unidos números 09/642.033 y 09/802.222, que se incorporan aquí por referencia para todos los fines. Una modulación, en sentido horario, en un diodo de láser directamente modulado (DML) síncrona con una modulación de datos NRZ externa genera una señal óptica en la forma de un formato de retorno a cero de cambio de frecuencia con el tiempo (CRZ). El cambio de frecuencia con el tiempo de la frecuencia generado presenta una forma funcional similar, pero de signo opuesto, al generado por la modulación de autofase. Concretamente, el cambio de frecuencia con el tiempo se describe como sigue:

$$\Delta \nu_{CRZ}(t) \propto \frac{dP(t)}{dt} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

A medida que la señal óptica atraviesa la línea de fibras, el cambio de frecuencia con el tiempo

inicial, según se describe en la Ecuación 5, se agota gradualmente por la modulación de autofase SPM. Antes de que se agote totalmente el cambio de frecuencia con el tiempo inicial, el espectro óptico de la señal se hace gradualmente más estrecho en lugar de más ancho como ocurre para una señal NRZ. Un plan de compensación de la dispersión adecuadamente diseñado puede ralentizar el agotamiento del cambio de frecuencia con el tiempo inicial y mejora la capacidad para reducir la distorsión causada por SPM. Puesto que el espectro de la señal se agota por SPM, en lugar de ensancharse como en el caso de NRZ, la tolerancia a la dispersión se hace mayor después de la transferencia. De este modo, una señal óptica, de cambio de frecuencia con el tiempo, con ancho de banda amplio, podría transmitir realmente con más amplitud que una señal libre de cambio de frecuencia con el tiempo, con ancho de banda estrecho, porque la señal óptica de cambio de frecuencia con el tiempo puede reducir la distorsión de SPM.

La Figura 5 representa un emisor NRZ convencional simplificado. El emisor NRZ 500 comprende una fuente de luz 510, un modulador de datos 520, una fuente NRZ 530, un dispositivo de recuperación de datos y señal de reloj (CDR) 540 y un dispositivo excitador de transferencia de datos 550. Por ejemplo, la fuente de luz 510 comprende láser de diodos de onda continua CW y el modulador de datos 520 comprende un modulador electro-óptico. Una señal NRZ eléctrica entrante, procedente de la fuente de NRZ 530, se reacondiciona por el dispositivo de recuperación de datos y de señal de reloj 540. La salida de datos procedentes del dispositivo de recuperación de datos y de señal de reloj 540 se amplifica, entonces, para excitar el modulador de datos 520 a través del dispositivo de excitación de la transferencia de datos 550. El modulador de datos 520 convierte la señal desde la fuente de luz 510 a una señal óptica NRZ.

La Figura 6 representa un emisor CRZ simplificado. Este diagrama es solamente un ejemplo, que no debe limitar indebidamente el alcance de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. El emisor CRZ 600 comprende una fuente de luz 610, un modulador de datos 620, una fuente de NRZ 630, un dispositivo de recuperación de datos y señal de reloj (CDR) 640, un dispositivo de excitación de transferencia de datos 650 y un desplazador de fase 660. Por ejemplo, la fuente de luz 610 comprende un láser directamente modulado, que genera luz pulsada en sentido horario. El modulador de datos 620 comprende un modulador electro-óptico. Una señal NRZ eléctrica entrante, procedente de la fuente de NRZ 630, se reacondiciona por el dispositivo de recuperación de datos y de señal de reloj 640. La salida de datos desde el dispositivo de recuperación de datos y de señal de reloj 640 se amplifica, entonces, para excitar el modulador de datos 620 a través del dispositivo de excitación de transferencia de datos 650. El modulador de datos 620 convierte la señal procedente de la fuente de luz 610 a una señal óptica CRZ. Además, la salida de señal de reloj desde el dispositivo de recuperación de datos y señal de reloj 640 se utiliza para excitar la fuente de luz 610 a través del dispositivo desplazador de fase 660. El dispositivo desplazador de fase 660 proporciona un determinado ajuste del retardo entre la salida de señal de reloj y la salida de datos para garantizar el solapamiento temporal entre los impulsos de señales de reloj ópticos y la modulación de datos. A este respecto, véase la solicitud de patente de Estados Unidos número de serie 09/642.033, que se incorpora aquí por referencia para todos los fines.

Los pulsos ópticos de la señal CRZ, generada por el emisor CRZ 600, presentan cada uno un cambio de frecuencia con el tiempo positivo y la magnitud de dicho cambio de frecuencia con el tiempo depende, en gran medida, de la tensión de excitación, de la corriente de excitación o de la potencia RF de excitación en el láser directamente modulado. Durante la transferencia de la señal de CRZ, antes de que se agote completamente el cambio de frecuencia con el tiempo inicial, el centro de la ventana de tolerancia a la dispersión debe permanecer prácticamente en aproximadamente 0 ps/nm o en aproximadamente -100 ps/nm, en donde se comprimen los pulsos de CRZ. Por el contrario, el centro de la ventana de tolerancia a la dispersión para una señal NRZ, que no posea un cambio de frecuencia con el tiempo inicial se puede desplazar a algún valor positivo tal como 500 a 600 ps/nm según el ejemplo representado en la Figura 1.

Después de que se agote totalmente el cambio de frecuencia con el tiempo inicial en la señal CRZ, el SPM comienza a generar un cambio de frecuencia con el tiempo con signo negativo y el espectro óptico se hace gradualmente más amplio en una forma similar a la presentada para una señal NRZ. El centro de la ventana de tolerancia a la dispersión se puede desplazar también gradualmente desde aproximadamente 0 ps/nm hacia el de la señal de NRZ. Dicho de otro modo, si se reduce gradualmente la magnitud del cambio de frecuencia con el tiempo inicial, el cambio de frecuencia con el tiempo se agotará a una distancia gradualmente más corta. Para la distancia de transferencia dada de longitud suficiente, el centro de la ventana de tolerancia a la dispersión se puede desplazar gradualmente desde aproximadamente 0 ps/nm al lado positivo a medida que se reduce el cambio de frecuencia con el tiempo.

La Figura 7 representa tolerancias a la dispersión simplificada para la señales CRZ. Este diagrama es solamente a título de ejemplo, que no debe limitar indebidamente el alcance de protección de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. Las curvas 710 y 720 son tolerancias a la dispersión después de la transferencia de 2400 km para dos señales CRZ. Las dos señales CRZ se generan con diferentes potencias de RF de excitación en el láser directamente modulado (DML). Otras condiciones para obtener las curvas 710 y 720 son prácticamente las mismas que las condiciones para obtener la curva 120 en la Figura 1. La curva 710 corresponde a una señal CRZ completamente modulada, lo que significa que la corriente de modulación de la señal de reloj en el láser DML oscila desde la corriente umbral de láser a dos veces el valor de la intensidad de corriente media.

La corriente de modulación de la señal de reloj comprende componentes de corriente alterna y de corriente continua. En dicho modo completamente modulado, la relación de contraste entre los valores máximo y mínimo de los pulsos de reloj ópticos es aproximadamente 10 dB. El centro de la ventana de tolerancia de dispersión está prácticamente en aproximadamente 0 ps/nm.

5 La curva 720 corresponde a una señal de CRZ con modulación reducida. La potencia RF de
excitación, en el DML, está reducida en 13 dB, lo que significa que la corriente de excitación por corriente
alterna está reducida en un 22,4%. Según se puede constatar, el centro de la ventana de tolerancia a la
dispersión está desplazado a +500 ps/nm. La relación de contraste de los impulsos de reloj ópticos, bajo
10 modulación reducida es aproximadamente de 3 dB. La señal ya no es estrictamente de "retorno a cero", pero
debido al cambio de frecuencia con el tiempo, los pulsos se pueden comprimir al formato de "retorno a cero"
con una relación de contraste próxima a 10 dB, utilizando una fibra de compensación de dispersión de
segmentos. Por ejemplo, la fibra de compensación de la dispersión puede proporcionar aproximadamente una
compensación de -200 ps/nm. De este modo, la señal permanece todavía con una ganancia de 1 dB en
OSNR con respecto a la señal de NRZ.

15 La Figura 8 representa una relación simplificada entre el centro de la ventana de tolerancia a la
dispersión y la potencia de excitación de RF para señales CRZ de DML. Este diagrama es solamente un
ejemplo que no debe limitar indebidamente el alcance de protección de las reivindicaciones. Un experto en
esta materia reconocería numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. A medida que disminuye la
potencia de excitación de RF, el centro de la ventana de tolerancia de dispersión, distinguido por la más baja
20 relación OSNR necesaria para una relación BER dada, se desplaza, de forma monótona a la dispersión
acumulativa positiva.

La Figura 9 representa una tolerancia a la dispersión simplificada para la señal CRZ desde un emisor
CRZ adaptativo. Este diagrama es simplemente un ejemplo, que no debe limitar indebidamente el alcance de
protección de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería numerosas variaciones,
25 alternativas y modificaciones. Al obtener la curva de tolerancia de la dispersión, la señal recibida después de
la transferencia de 2400 km se optimiza en cada valor de dispersión acumulativa ajustando continuamente la
potencia RF de excitación en el DML para obtener la más baja relación OSNR para BER de aproximadamente
 10^{-5} . Todas las demás condiciones para obtener la curva 910 son prácticamente las mismas que las utilizadas
para la curva 120 en la Figura 1. Según puede constatarse el emisor adaptativo proporciona una tolerancia a
30 la dispersión de 1200 ps/nm. Para fines de comparación, la curva 120 en la Figura 1 se presenta también en
la Figura 9.

La Figura 10 representa un sistema de transferencia DWDM simplificado, según una forma de
realización de la presente invención. Este diagrama es simplemente un ejemplo, que no debe limitar
indebidamente el alcance de protección de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería
35 numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. El sistema 1000 comprende emisores ópticos 1010, un
multiplexor WDM 1020, un sistema de línea de transferencia compensada en dispersión 1030, un
demultiplexor WDM 1040 y receptores ópticos 1050. Aunque la descripción anterior se hizo utilizando un
grupo seleccionado de aparatos para el sistema 1000, pueden existir numerosas alternativas, modificaciones
y variaciones. Por ejemplo, algunos de los aparatos pueden ser ampliados y/o combinados. Otros aparatos se
40 pueden insertar en los anteriormente indicados. Dependiendo de la forma de realización, la disposición de los
aparatos se puede intercambiar con otros sustituidos. Más detalles de estos aparatos se encuentran a través
de la especificación presente y más en particular a continuación.

Los emisores ópticos 1010 comprenden emisores ópticos 1, 2, ..., n, en donde n es un número
entero positivo. Los emisores ópticos 1010 están conectados al multiplexor WDM 1020 y los receptores
45 ópticos 1050. La Figura 11 representa un emisor adaptativo simplificado, según una forma de realización de la
presente invención. Este diagrama es simplemente un ejemplo, que no debe limitar indebidamente el alcance
de protección de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería numerosas variaciones,
alternativas y modificaciones. El emisor adaptativo 1100 es uno de los emisores ópticos 1010 y comprende
una fuente de luz 1110, un modulador de datos 1120, una fuente de NRZ 1130, un dispositivo de
50 recuperación de datos y señal de reloj (CDR) 1140, un dispositivo de excitación de transferencia de datos
1150, un dispositivo de desplazamiento de fase 1160, un sistema de ajuste 1170 y un sistema de control
1180. Aunque la anterior descripción se hizo utilizando un grupo seleccionado de aparatos para el sistema
1100, pueden existir numerosas alternativas, modificaciones y variaciones. Por ejemplo, algunos de los
aparatos se pueden ampliar y/o combinar. El sistema de ajuste 1170 se puede combinar con el dispositivo de
55 recuperación de datos y señal de reloj 1140. Otros aparatos se pueden insertar en los anteriormente
indicados. Dependiendo de la forma de realización, la disposición de los aparatos se puede intercambiar con
otros sustituidos. Más detalles de estos aparatos se encuentran a través de la presente especificación y más
en particular a continuación.

La fuente de NRZ 1130 genera una señal NRZ eléctrica, que se recibe y reacondiciona por el
60 dispositivo de recuperación de datos y señal de reloj (CDR) 1140. Este dispositivo de recuperación de datos y
señal de reloj 1140 genera una señal de datos 1142 y una señal de reloj 1144. La señal de datos 1142 se
recibe y amplifica por el dispositivo de excitación de transferencia de datos 1150. El dispositivo de excitación

de transferencia de datos 1150 genera una señal 1152 para excitar el modulador de datos 1120.

La fuente de luz 1110 comprende un láser directamente modulado (DML) y proporciona a la salida luz para el modulador de datos 1120. Por ejemplo, la fuente de luz 1110 genera una luz pulsada en sentido horario. El modulador de datos 1120 comprende un modulador electro-óptico. El modulador de datos 1120
5 convierte la luz desde la fuente de luz 1110 a una señal óptica CRZ 1122 en respuesta a la señal 1152. La señal CRZ 1122 comprende pulsos ópticos con los correspondientes cambio de frecuencia con el tiempos determinados por el sistema de control 1180 y el sistema de ajuste 1170.

El sistema de control 1180 recibe una señal de realimentación 1182. Por ejemplo, la señal de realimentación 1182 se transmite a través de un canal supervisor del sistema de transferencia DWDM 1000.
10 El sistema de control 1180 proporciona a la salida una señal de control 1184 para el sistema de ajuste 1170. El dispositivo de recuperación de datos y señal de reloj 1140 recibe la señal NRZ eléctrica desde la fuente NRZ 1130 y en respuesta, genera la señal de datos 1142 y la señal de reloj 1144. La señal NRZ eléctrica transporta información de datos.

La señal de reloj 1144 procedente del dispositivo de recuperación de datos y señal de reloj 1140 se
15 utiliza para excitar la fuente de luz 1110 a través del sistema de ajuste 1170 y el dispositivo de desplazamiento de fase 1160. El sistema de ajuste 1170 ajusta la magnitud de la señal de reloj 1144 en respuesta a la señal de control 1184. La señal de reloj ajustada 1144 determina la magnitud de la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación para el láser directamente modulado, en la fuente de luz 1110. La
20 tensión de excitación, la corriente de excitación o la potencia RF de excitación pueden afectar a la magnitud del cambio de frecuencia con el tiempo asociado con los pulsos ópticos de la señal CRZ 1122. Por ejemplo, el sistema de ajuste 1170 comprende un atenuador. El dispositivo de desplazamiento de fase 1160 proporciona algún ajuste del retardo entre la señal de reloj 1144 y la señal de datos 1142 para garantizar el solapamiento temporal entre los pulsos de reloj ópticos y la modulación de datos.

El multiplexor 1020 recibe salidas de los emisores ópticos 1010 y genera una señal óptica multiplexada. La señal óptica multiplexada se transmite a través del sistema de línea de transferencia compensada en dispersión 1030. El sistema de línea de transferencia compensada en dispersión 1030
25 comprende múltiples intervalos y múltiples sistemas de amplificadores ópticos 1032. Cada sistema de amplificador óptico está situado entre cada par de intervalos adyacentes y comprende un módulo de compensación de la dispersión fijo 1034 y amplificadores 1036. Por ejemplo, el módulo de compensación de dispersión fijo 1034 comprende una fibra de compensación de la dispersión. La señal óptica multiplexada se
30 recibe por el demultiplexor WDM 1040 que genera señales ópticas.

Los receptores ópticos 1050 reciben las señales ópticas desde el demultiplexor WDM 1040. Los receptores ópticos 1050 comprenden receptores ópticos 1, 2, ..., n y están en correspondencia con los
35 emisores ópticos 210, respectivamente, siendo n un número entero positivo. La Figura 12 es una representación de un receptor simplificado según una forma de realización de la presente invención. Este diagrama es simplemente un ejemplo, que no debe limitar indebidamente al alcance de protección de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. El receptor 1200 es uno de los receptores ópticos 1050 y comprende un conversor óptico a
40 eléctrico (O/E) 1210, un dispositivo de recuperación de datos y de señal de reloj (CDR) 1220 y un dispositivo de control 1230. El receptor 1200 recibe una señal óptica y proporciona a la salida una señal de datos. Aunque la descripción anterior se hizo utilizando un grupo seleccionado de aparatos para el sistema 1200, pueden existir numerosas alternativas, modificaciones y variaciones. Por ejemplo, algunos de los aparatos se pueden ampliar y/o combinar. Otros aparatos se pueden insertar en los anteriormente indicados. Dependiendo de la forma de realización, la disposición de los aparatos se puede intercambiar con otros
45 sustituidos. Por ejemplo, la señal de salida del dispositivo CDR 1220 puede desplazarse a través de dos rutas de señales. Una ruta entra en el dispositivo de control 1230, mientras que la otra ruta no lo hace. Detalles adicionales sobre estos aparatos se encuentran a través de la presente especificación y más en particular a continuación.

El convertidor óptico a eléctrico (O/E) 1210 recibe una señal óptica y genera una señal eléctrica. La
50 señal eléctrica es recibida por el dispositivo de recuperación de datos y de señal de reloj (CDR) 1220, que reduce las distorsiones de las señales de la señal eléctrica y proporciona a la salida una señal de datos 1222 al dispositivo de control 1230. El dispositivo de control 1230 puede proporcionar una señal de realimentación 1232 que contiene información sobre la calidad de la señal de datos 1222. Por ejemplo, el dispositivo de control 1230 comprende un circuito integrado de corrección de error hacia delante (FEC). La calidad de la
55 señal de datos 1222 se mide por la lectura de BER no corregida desde el circuito integrado de FEC. Por ejemplo, la señal de realimentación 1232 se transmite a través de un canal supervisor del sistema de transferencia DWDM 1000.

Según se describió anteriormente y se subraya aquí, las Figuras 10 a 12 son solamente ejemplos, que no deben limitar indebidamente el alcance de protección de las reivindicaciones. Un experto en esta
60 materia reconocería numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. Por ejemplo, un primer emisor adaptativo, según se representa en la Figura 11 y un primer receptor según se representa en la Figura 12, se

pueden combinar. El primer receptor recibe una señal óptica desde un primer segmento de una red óptica y proporciona una primera señal de realimentación a un segundo emisor adaptativo para el primer segmento de la red óptica. El primer emisor adaptativo transmite una segunda señal óptica a un segundo segmento de la red óptica y recibe una segunda señal de realimentación desde un segundo receptor para el segundo segmento de la red óptica.

La Figura 13 representa un método simplificado para la compensación automática de la dispersión cromática. Este diagrama es solamente un ejemplo, que no debe limitar indebidamente el alcance de protección de las reivindicaciones. Un experto en esta materia reconocería numerosas variaciones, alternativas y modificaciones. El método 1300 para la compensación automática de la dispersión cromática comprende el proceso 1310 para generar señales ópticas CRZ, el proceso 1320 para multiplexar señales ópticas CRZ, el proceso 1330 para transmitir la señal óptica multiplexada, el proceso 1340 para demultiplexar la señal óptica transmitida, el proceso 1350 para recibir señales ópticas demultiplexadas, el proceso 1360 para proporcionar una señal de realimentación, el proceso 1370 para determinar la necesidad de ajustar señales ópticas CRZ y el proceso 1380 para ajustar las señales ópticas CRZ. El método 1300 se puede realizar utilizando varios tipos de sistemas de transferencia. Por ejemplo, el sistema de transferencia, según se representa en las Figuras 10, 11 y 12 se utilizan para realizar el método 1300. Aunque la descripción anterior se hizo utilizando una secuencia seleccionada de procesos, pueden existir numerosas alternativas, modificaciones y variaciones. Por ejemplo, algunos de los procesos se pueden ampliar y/o combinar. Otros procesos se pueden insertar en los anteriormente indicados. Dependiendo de la forma de realización, las secuencias específicas de pasos se pueden intercambiar con otros sustituidos. Más detalles sobre estos procesos se encuentran a través de la presente especificación y más concretamente a continuación.

En el proceso 1310, se generan señales ópticas CRZ. Por ejemplo, las señales ópticas CRZ se proporcionan a la salida de los emisores ópticos 1010, respectivamente. Cada uno de los emisores ópticos 1010 comprende varios componentes según se representa en la Figura 11. En el proceso 1320, se demultiplexan las señales ópticas CRZ. Por ejemplo, las señales ópticas CRZ procedentes de los emisores ópticos se multiplexan por el multiplexor WDM 1020, que genera una señal óptica multiplexada. En el proceso 1330, se transmite la señal óptica multiplexada. Por ejemplo, la transferencia se realiza a través del sistema de línea de transferencia compensada en dispersión 1030 que incluye múltiples intervalos y múltiples sistemas de amplificadores ópticos 1032. Cada sistema de amplificador óptico se sitúa entre cada par de intervalos adyacentes y comprende un módulo de compensación de la dispersión fijo 1034 y amplificadores 1036. Por ejemplo, el módulo de compensación de dispersión fijo 1034 comprende un filtro de compensación de la dispersión.

En el proceso 1340, se demultiplexa la señal óptica transmitida. Por ejemplo, la señal óptica transmitida se recibe por el demultiplexor WDM 1040 que genera señales ópticas demultiplexadas. En el proceso 1350, se reciben señales ópticas demultiplexadas. Por ejemplo, los receptores ópticos 1050 reciben las señales ópticas demultiplexadas y cada uno de los emisores ópticos 1010 comprende varios componentes según se representa en la Figura 12.

En el proceso 1360, se proporciona una señal de realimentación. Por ejemplo, el dispositivo de control 1230 en uno de los receptores ópticos 1050 puede proporcionar una señal de realimentación 1232 que contiene información sobre la calidad de la señal de datos 1222. Por ejemplo, el dispositivo de control 1230 comprende un circuito integrado de corrección de error hacia delante (FEC). La calidad de la señal de datos 1222 se mide por la lectura de BER no corregida desde el circuito integrado FEC.

En el proceso 1370, se determina si las señales ópticas CRZ, generadas en el proceso 1320, deben ajustarse o no. Por ejemplo, la señal de realimentación 1232 se transmite a través de un canal supervisor y se recibe por el sistema de control 1180 en uno de los emisores ópticos 1010 del sistema de transferencia DWDM 1000. Si la calidad de la señal de datos 1222 no es satisfactoria, las señales ópticas CRZ necesitan ajustarse y se debe realizar el proceso 1380. Si la calidad de la señal de datos 1222 es satisfactoria o ha alcanzado prácticamente un límite, no se necesita ajustar las señales ópticas CRZ. En el proceso 1380, se ajustan las señales ópticas CRZ. Por ejemplo, el sistema de ajuste 1170, en uno de los emisores ópticos 1010, determina la magnitud de la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación para el láser directamente modulado en la fuente de luz 1110.

Según se examinó anteriormente y se representa en la Figura 13, las señales ópticas CRZ se pueden generar y recibir, de forma individual, por sus respectivos emisores y receptores ópticos. La calidad de cada una de las señales ópticas CRZ recibida se puede determinar y dicha información sobre la calidad se puede transmitir como una señal de la realimentación. La necesidad de ajustar las señales ópticas CRZ se puede determinar también de forma individual. El ajuste de las señales ópticas CRZ se puede realizar en una o más de las señales ópticas CRZ. Además, el ajuste a las señales ópticas CRZ se puede realizar más de una vez en algunas aplicaciones. Para reducir el número de ajustes para una señal óptica CRZ dada, la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación se pueden cambiar en una dirección. Si la calidad de una señal óptica CRZ recibida dada se deteriora, la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación se pueden cambiar en la otra dirección en el siguiente ajuste. Si mejora la calidad de una señal óptica CRZ recibida dada, la corriente de excitación, la tensión de

excitación o la potencia RF de excitación se pueden cambiar, además, en la misma dirección en el siguiente ajuste.

5 El método para la compensación automática de la dispersión cromática, según se describió anteriormente, se puede utilizar por los ingenieros residentes durante las instalaciones del sistema. Además, el proceso se puede automatizar también mediante un programa informático. El sistema se controla por un microprocesador, que ajusta automáticamente la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación, en el láser directamente modulado, para adaptarse a la dispersión acumulativa presente en los enlaces de fibras ópticas.

10 Según otra forma de realización de la presente invención, se da a conocer un medio de soporte legible por ordenador que incluye instrucciones para transmitir una señal para aplicaciones de redes ópticas. El medio de soporte legible por ordenador comprende una o más instrucciones para proporcionar a la salida una primera señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, asociada con un primer cambio de la frecuencia, una o más instrucciones para proporcionar a la salida una segunda señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, asociada con un segundo cambio de la frecuencia, una o más instrucciones para recibir al menos la primera señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo y la segunda señal de retorno al cero de cambio de la frecuencia con el tiempo y una o más instrucciones para generar una señal óptica multiplexada, en respuesta a por lo menos la primera señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo y la segunda señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo. Además, el medio de soporte legible por ordenador comprende una o más instrucciones para recibir la señal óptica multiplexada y una o más instrucciones para generar al menos una primera señal óptica y una segunda señal óptica, en respuesta a la señal óptica multiplexada. La primera señal óptica está asociada con la primera señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo y la segunda señal óptica está asociada con la segunda señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo. Además, el medio de soporte legible por ordenador comprende una o más instrucciones para la recepción de la primera señal óptica, una o más instrucciones para la recepción de la segunda señal óptica, una o más instrucciones para generar una primera señal de realimentación asociada con una primera característica relacionada con al primera señal óptica, una o más instrucciones para la recepción de la primera señal de realimentación, una o más instrucciones para procesar la información asociada con la primera señal de realimentación y una o más instrucciones para ajustar el primer cambio de la frecuencia con el tiempo basada en al menos información asociada con la primera señal de realimentación.

25 Algunas formas de realización de la presente invención se pueden aplicar a sistemas de transporte óptico de largo trayecto extendido (ELH). La interacción no lineal, tal como la modulación SPM, da lugar a un estrechamiento de la ventana de la tolerancia de la dispersión en enlaces de transmisión de ELH. Algunas formas de realización de la presente invención pueden mejorar, en gran medida, el rendimiento de redes ópticas de alta velocidad, tales como una red óptica de 10 Gbp a 40 Gbp.

35 La presente invención presenta varias ventajas. Algunas formas de realización de la presente invención dan a conocer un método y sistema para aumentar la tolerancia de dispersión cromática en sistemas de transmisión de fibra óptica de largo recorrido extendido o en otros sistemas de transmisión de fibra óptica, en donde la tolerancia a la dispersión se reduce, en gran medida, debido a la falta de linealidad de las fibras. Algunas formas de realización de la presente invención dan a conocer un método y sistema para generar señales ópticas que se autoadaptan a la dispersión cromática residual, en enlaces de transmisión de fibra óptica compensada en dispersión, de modo que las señales experimenten distorsiones mínimas en los receptores. Algunas formas de realización de la presente invención ajustan la magnitud del cambio de la frecuencia con el tiempo, en una señal CRZ, en respuesta a las variaciones en la dispersión acumulativa en rutas de fibras compensadas en dispersión. El ajuste se realiza cambiando la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación para un láser directamente modulado en un emisor. Algunas formas de realización de la presente invención utilizan un dispositivo de control del rendimiento en el lado del receptor. El dispositivo de control del rendimiento genera una señal de salida que se puede utilizar como realimentación para controlar la corriente de excitación, la tensión de excitación o la potencia RF de excitación, para un láser directamente modulado, en un emisor y por lo tanto, optimizar el rendimiento de un sistema de transmisión. Algunas formas de realización de la presente invención dan a conocer una capacidad de desplazamiento del centro de la ventana de tolerancia de la dispersión y por lo tanto, aumentan la tolerancia del sistema a variaciones en la dispersión acumulativa. Algunas formas de realización de la presente invención pueden reducir los costes y los tamaños de los sistemas de compensación de la dispersión adaptativa. Algunas formas de realización de la presente invención pueden ajustar el centro de la ventana de tolerancia dispersión y por lo tanto, un mayor alcance de la compensación de la dispersión.

50 Aunque se han descrito formas de realización específicas de la presente invención, se entenderá por los expertos en esta materia que existen otras formas de realización que son equivalentes a las descritas. En consecuencia, ha de entenderse que la invención no está limitada por las formas de realización ilustradas específicas, sino solamente por el alcance de protección de las reivindicaciones adjuntas.

60

REIVINDICACIONES

1.- Un aparato para transmitir una señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, para aplicaciones de redes ópticas, comprendiendo dicho aparato:

un emisor adaptativo óptico (1100);

5 en donde el emisor adaptativo óptico (1100) está caracterizado por comprender:

una fuente de señal (1130) configurada para generar una señal de no retorno a cero;

un sistema de recuperación de datos y señal de reloj (1140) configurado para recibir la señal de no retorno a cero y generar la señal de excitación del láser (1144) y una señal de control de datos (1142);

10 un dispositivo de excitación de transferencia de datos (1150) configurado para recibir la señal de control de datos (1142) y generar la señal de excitación de transferencia de datos;

una fuente de luz (1110) configurada para generar una señal de láser en respuesta a una señal de excitación de láser (1144);

15 un modulador de datos (1120) configurado para recibir la señal de láser y una señal de excitación de transferencia de datos (1152) y proporcionar a la salida una señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo(1122);

un sistema de control (1180) configurado para recibir una señal de realimentación (1182) y proporcionar a la salida una señal de control de láser (1184), en respuesta a la señal de realimentación (1182);

20 un sistema de ajuste (1170) configurado para recibir la señal de control de láser (1184) y la señal de excitación de láser (1144) y ajustar la magnitud de la corriente de excitación o de la tensión de excitación o de la potencia RF de excitación de la señal de excitación de láser (1144), en respuesta a la señal de control de láser (1184) con el fin de ajusta la magnitud del cambio de la frecuencia con el tiempo, en una señal CRZ, en respuesta a las variaciones en la dispersión acumulativa en rutas de fibras compensadas en dispersión.

25 2.- El aparato, según la reivindicación 1, en donde el emisor óptico comprende, además, un dispositivo de desplazamiento de fase configurado para proporcionar un desplazamiento de fase a la señal de excitación de láser y acoplado a por lo menos la fuente de luz.

3.- El aparato, según la reivindicación 1, en donde señal de realimentación está asociada con una característica relacionada con una señal de datos.

30 4.- El aparato según la reivindicación 3, en donde la señal de realimentación está asociada con una tasa de error binaria relacionada con la señal de datos.

5.- El aparato, según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la señal de excitación de láser está asociada con al menos una corriente de excitación de láser, una tensión de excitación de láser o una potencia RF de excitación de láser.

35 6.- El aparato, según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde, la señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, está asociada con un cambio de la frecuencia con el tiempo, dependiendo dicha variación de al menos la corriente de excitación de láser, la tensión de excitación de láser o la potencia RF de excitación de láser.

40 7.- Un sistema para transmitir una señal para aplicaciones de redes ópticas, que comprende un primero y un segundo aparatos según las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo cada uno primeros y segundos emisores adaptativos ópticos (1100), en donde el primer emisor adaptativo óptico (1100) está configurado para proporcionar a la salida una primera de señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, asociada con un primer cambio de la frecuencia con el tiempo; el segundo emisor adaptativo óptico (1100) está configurado para proporcionar a la salida una segunda señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, asociada con un segundo cambio de la frecuencia con el tiempo;

45 Comprendiendo el sistema, además:

un sistema de multiplexión (1020), configurado para recibir al menos la primera señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122) y la segunda señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122) y generar una señal óptica multiplexada;

un sistema de transmisión óptica (1030) configurado para recibir la señal óptica multiplexada;

50 un sistema de multiplexor (1040), acoplado al sistema de transmisión óptica y configurado para generar al menos una primera señal óptica y una segunda señal óptica, estando la primera señal óptica

asociada con la primera señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122), y la segunda señal óptica asociada con la segunda señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122);

un primer receptor óptico (1050) configurado para recibir la primera señal óptica;

5 un segundo receptor óptico (1050) configurado para recibir la segunda señal óptica;

en donde, el primer receptor óptico está configurado, además, para generar una primera señal de realimentación (1182) asociada con una primera característica relacionada con la primera señal óptica;

1 0 estando el primer emisor óptico configurado, además, para recibir la primera señal de realimentación, procesar la información asociada con la primera señal de realimentación, y ajustar el primer cambio de la frecuencia con el tiempo sobre la base de al menos la información asociada con la primera señal de realimentación (1182).

8.- Un método de compensación automática de la dispersión para transmitir una señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, para aplicaciones de redes ópticas, comprendiendo dicho método:

1 5 la recepción de una señal de realimentación (1182);

proporcionar a la salida una señal de control de láser (1184) en respuesta a la señal de realimentación (1182);

la generación de una señal de no retorno a cero;

la recepción de la señal de no retorno a cero;

2 0 la generación de una señal de excitación de láser (1144) y una señal de control de datos (1142) en respuesta a la señal de no retorno a cero;

la recepción de la señal de excitación de láser (1144) y la señal de control de datos de láser (1184);

2 5 el ajuste de la magnitud de la corriente de excitación o la tensión de excitación o la potencia RF de excitación de la señal de excitación de láser, en respuesta a la señal de control de láser (1184) con el fin de ajustar la magnitud del cambio de la frecuencia con el tiempo, en una señal CRZ, en respuesta a las variaciones en dispersión acumulativa en rutas de fibras compensadas en dispersión;

la recepción de la señal de excitación de láser (1144);

la generación de una señal de láser (1110) en respuesta a la señal de excitación de láser (1144);

la recepción de la señal de control de datos (1142);

3 0 la generación de una señal de excitación de transferencia de datos (1152) en respuesta a la señal de control de datos (1142);

la recepción de la señal de láser (1152) y la señal de excitación de transferencia de dato;

la generación de una señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122), en respuesta a la señal de láser (1110) y la señal de excitación de transferencia de datos (1152).

3 5 9.- El método, según la reivindicación 8, que comprende, además:

proporcionar un desplazamiento de fase a la señal de excitación de láser;

en donde, la señal de láser se genera en respuesta a la señal de excitación de láser con desplazamiento de fase.

4 0 10.- El método, según la reivindicación 9, en donde la señal de excitación de láser está asociada con al menos una corriente de excitación de láser, una tensión de excitación de láser o una potencia RF de excitación de láser.

4 5 11.- El método, según las reivindicaciones 8, 9 o 10, en donde la señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, está asociada con una variación de frecuencia en el tiempo, dependiendo dicho cambio de la frecuencia de al menos una corriente de excitación de láser, una tensión de excitación de láser o una potencia RF de excitación de láser

12.- El método, según la reivindicación 11, en donde la señal de realimentación está asociada con una característica asociada con una señal de datos.

13.- El método, según la reivindicación 12, en donde la señal de realimentación está asociada con una tasa de error binaria relacionada con la señal de datos.

5 14.- Un método de compensación automática de la dispersión para transmitir y recibir una primera y una segunda señales de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo, para aplicaciones de redes ópticas, comprendiendo dicho método:

la transmisión de una primera señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122), asociada con un primer cambio de la frecuencia, según el método de las reivindicaciones 8 a 13;

la transmisión de una segunda señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122), asociada con un segundo cambio de la frecuencia, según el método de las reivindicaciones 8 a 13;

10 comprendiendo dicho método:

la recepción de al menos la primera señal de retorno a cero, de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122), y la segunda señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122);

15 la generación de una señal óptica multiplexada (1020) en respuesta a por lo menos la primera señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122) y la segunda señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122);

la recepción de la señal óptica multiplexada (1040);

20 la generación de al menos una primera señal óptica y una segunda señal óptica (1050), en respuesta a la señal óptica multiplexada, estando la primera señal óptica asociada con la primera señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo (1122), estando la segunda señal óptica (1122) asociada con la segunda señal de retorno a cero de cambio de la frecuencia con el tiempo;

la recepción de la primera señal óptica (1050);

la recepción de la segunda señal óptica(1050);

la generación de una primera señal de realimentación (1182) asociada con una primera característica relacionada con la primera señal óptica;

25 la recepción de la primera señal de realimentación (1182);

el procesamiento de la información asociada con la primera señal de realimentación;

el ajuste del primer cambio de la frecuencia con el tiempo sobre la base de al menos la información asociada con la primera señal de realimentación (1182).

30 15.- El método, según la reivindicación 14, en donde el ajuste del primer cambio de la frecuencia con el tiempo comprende:

la determinación de si el primer cambio de la frecuencia con el tiempo debe ajustarse, o no, sobre la base de al menos la información asociada con la primera señal de realimentación;

solamente si debe ajustarse el primer cambio de la frecuencia con el tiempo, el ajuste del primer cambio de la frecuencia con el tiempo.

35 16.- Un medio de soporte legible por ordenador, que comprende instrucciones para la puesta en práctica del método según las reivindicaciones 8 a 15.

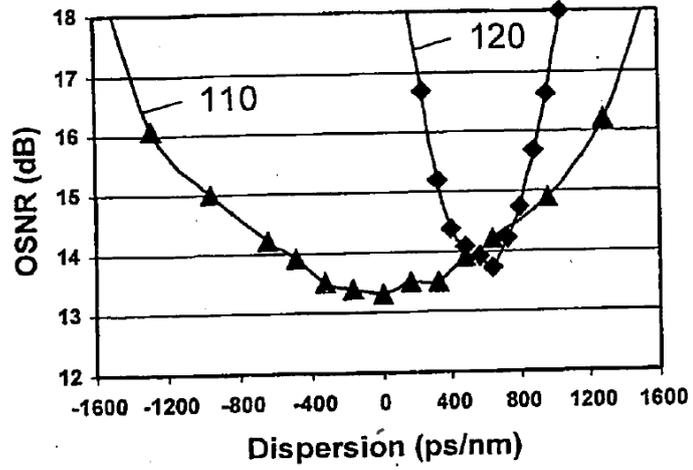


Figura 1

200

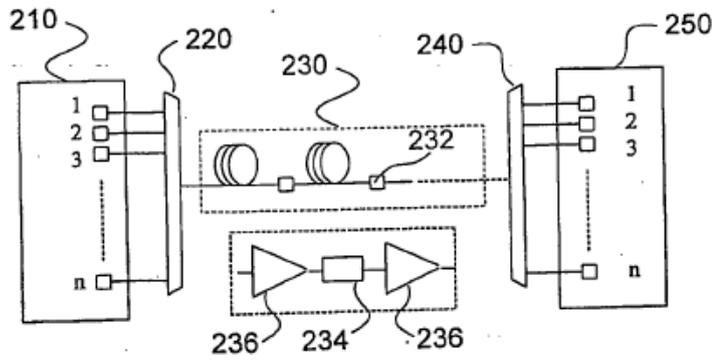


Figura 2

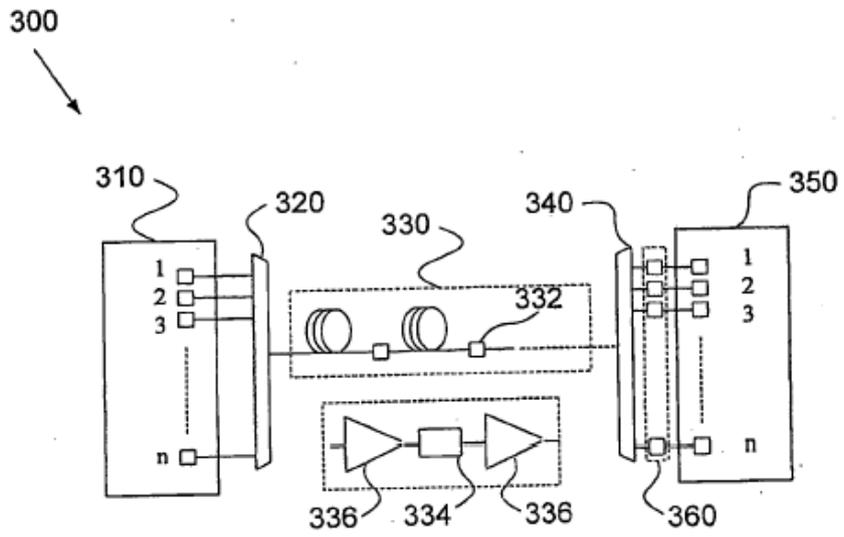


Figura 3

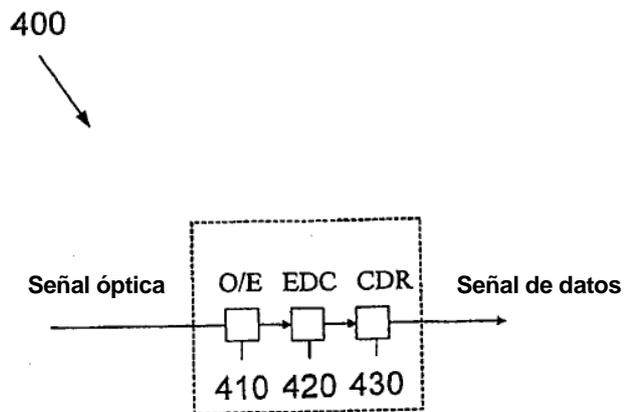


Figura 4

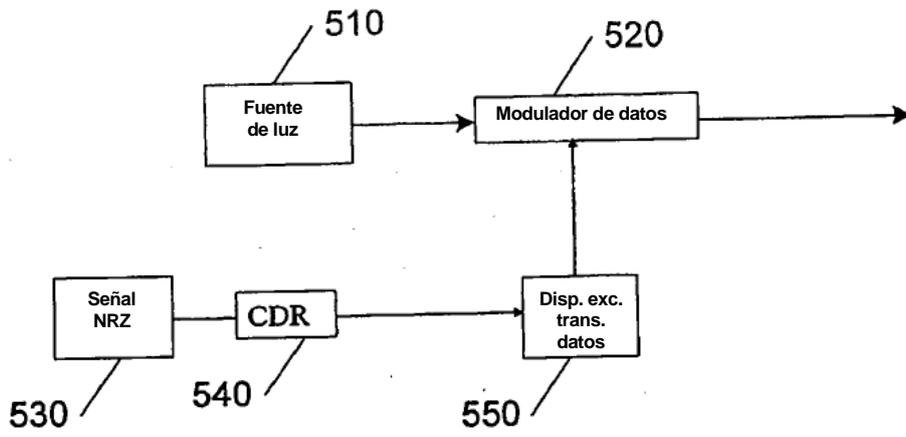


Figura 5

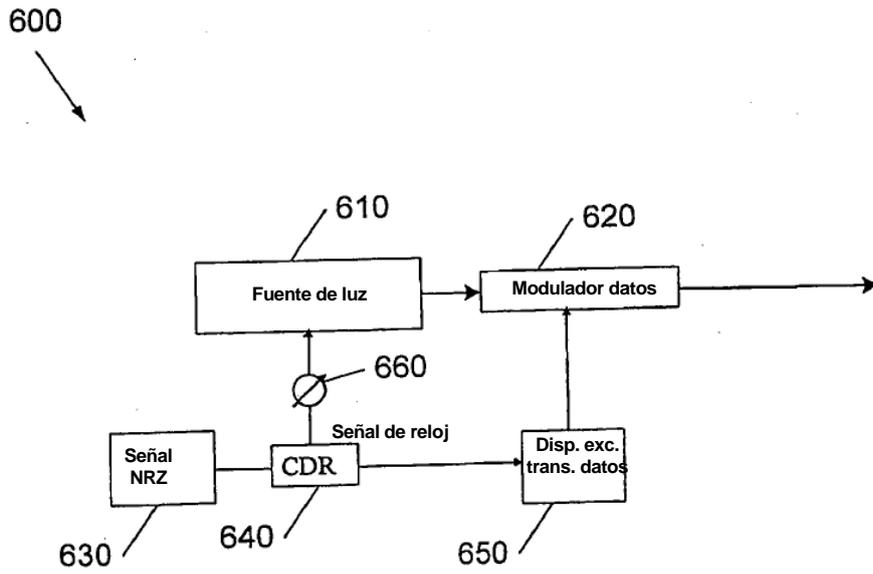


Figura 6

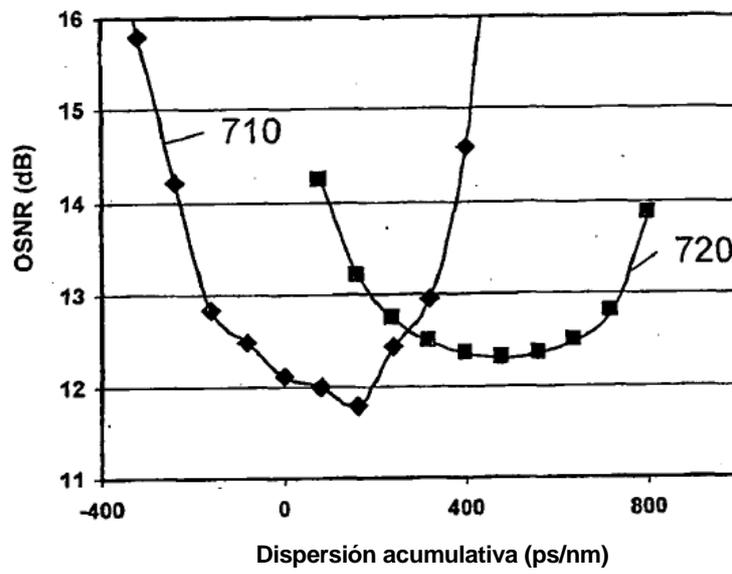


Figura 7

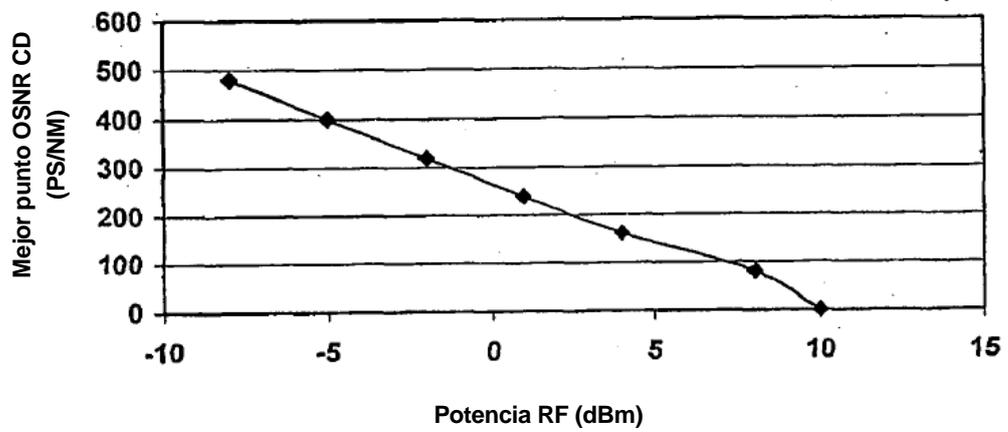


Figura 8

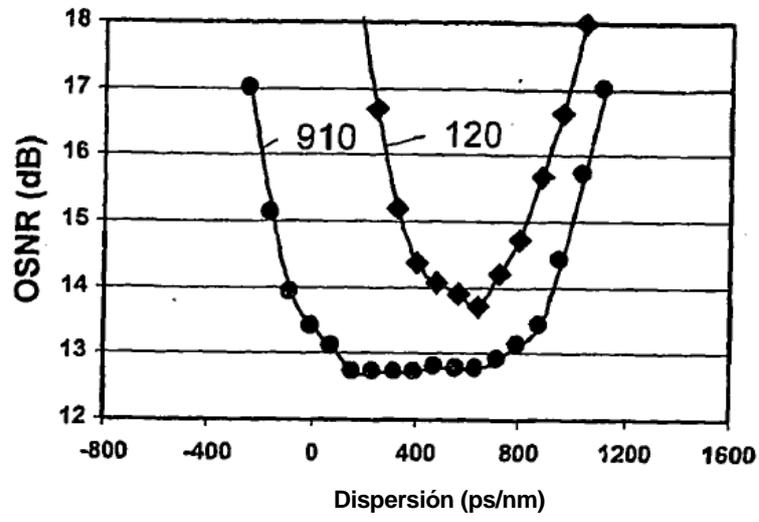


Figura 9

1000

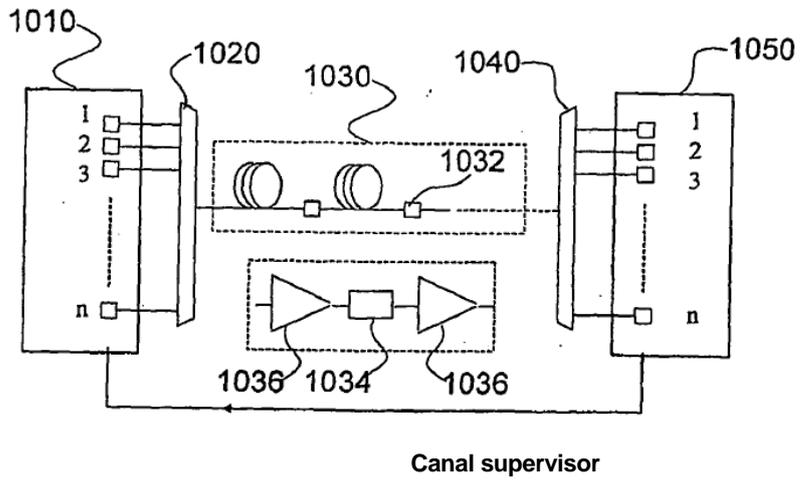


Figura 10

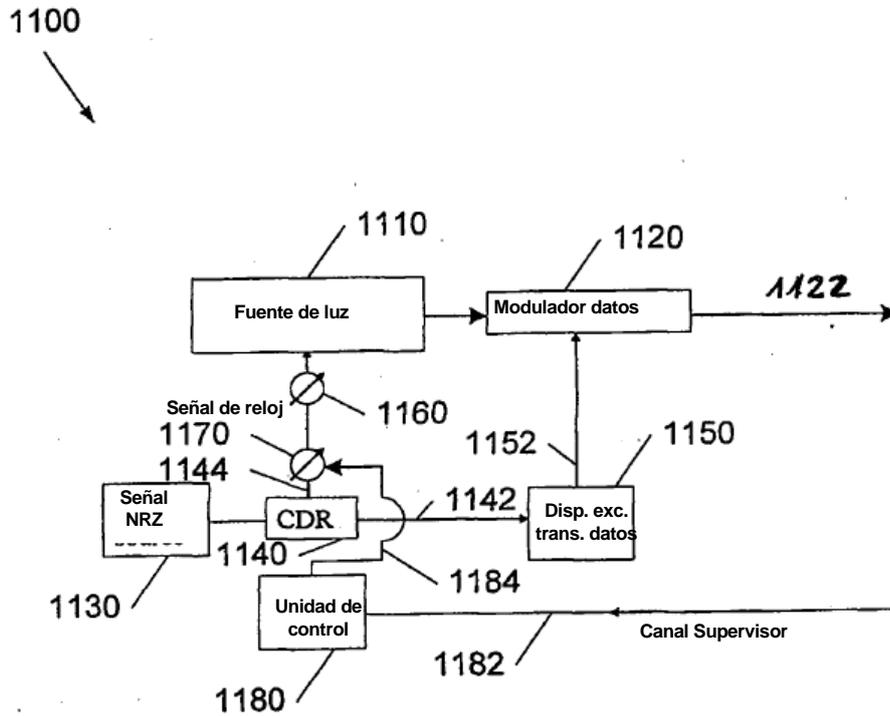


Figura 11

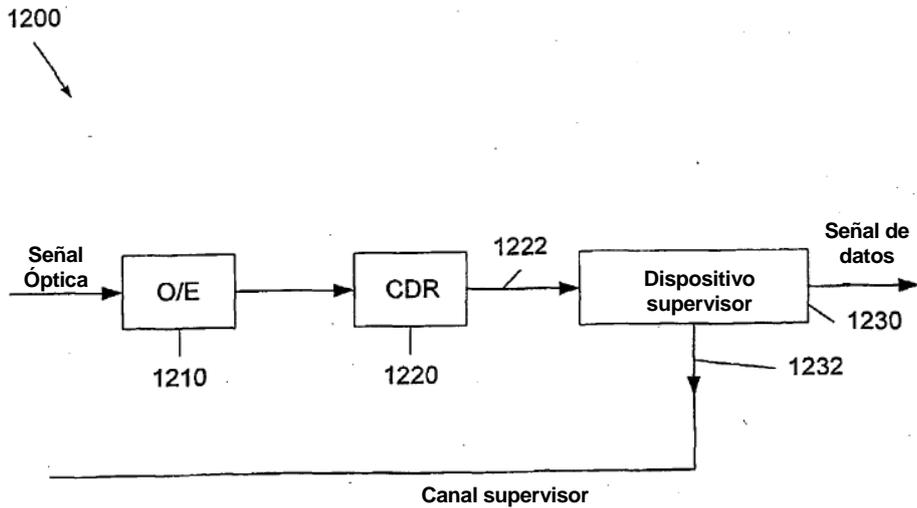


Figura 12

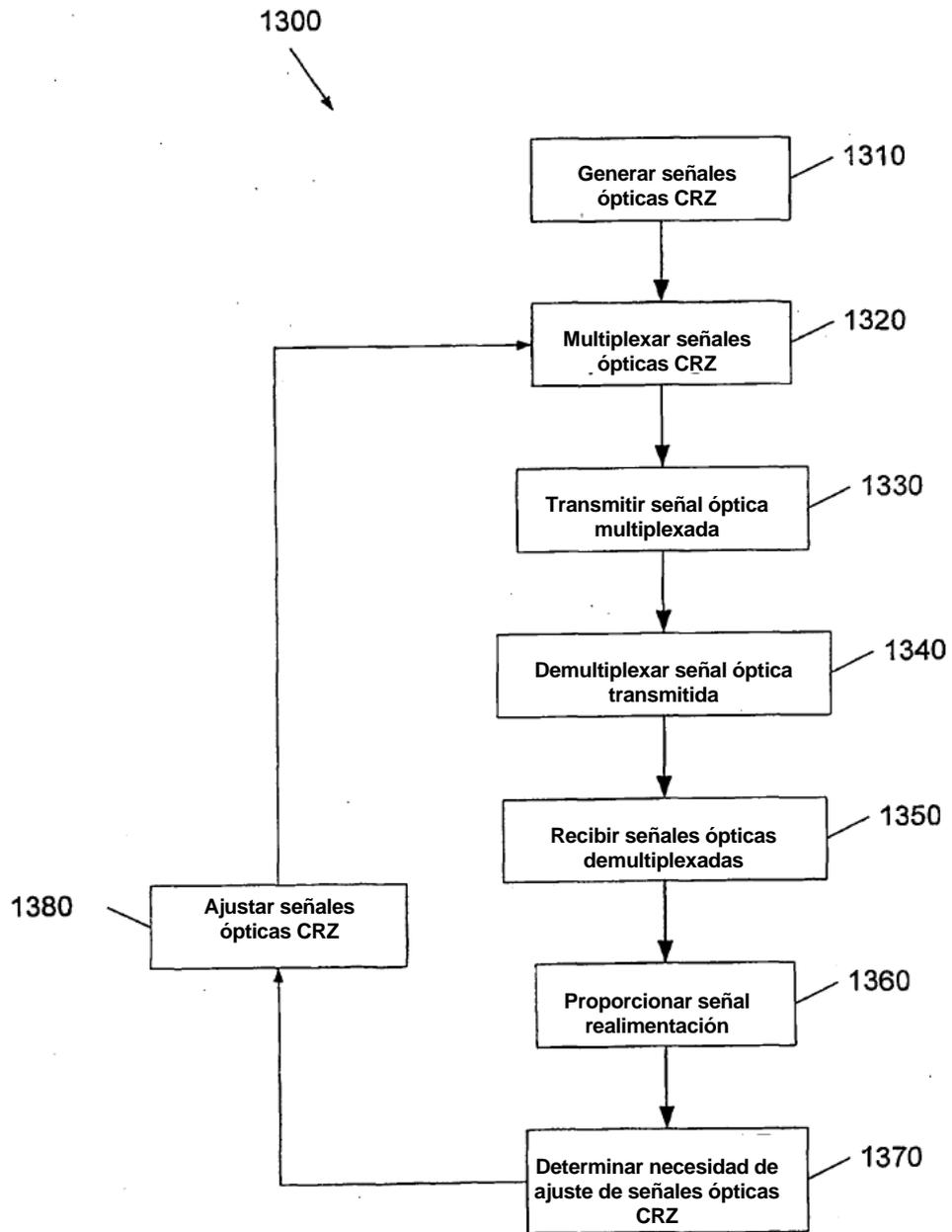


Figura 13