



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 323 882**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05291018 .9**

96 Fecha de presentación : **11.05.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1722495**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.11.2006**

54

Título: **Método para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica y sistema de transmisión óptica para implementar dicho método.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.07.2009

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.07.2009

73

Titular/es: **Alcatel Lucent**
54 rue La Boétie
75008 Paris, FR

72

Inventor/es: **Iachelini, Alessandro y**
Bellotti, Giovanni

74

Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 323 882 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica y sistema de transmisión óptica para implementar dicho método.

La presente invención se refiere generalmente a la transmisión guiada de señales ópticas. En particular, la presente invención se refiere a un método para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica y a un sistema de transmisión óptica que implementa dicho método. La presente invención se refiere, adicionalmente, a un método para seleccionar una longitud de onda de transmisión para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica.

En un sistema de transmisión óptica, la información es transmitida por medio de señales ópticas. Típicamente, un sistema de transmisión óptica comprende al menos un transmisor, de tal manera que el al menos un transmisor está configurado para transmitir un canal, es decir, una señal óptica a una longitud de onda dada. Las señales ópticas son entonces transmitidas a través de un enlace.

El enlace comprende generalmente uno o más tramos de fibra óptica. Durante la propagación a lo largo de cada tramo, una fracción de la potencia de la señal óptica es absorbida por la fibra óptica. De esta forma, al final de cada tramo, puede haberse proporcionado un amplificador respectivo con el fin de compensar la absorción de la fibra óptica.

Un sistema de transmisión óptica puede ser, bien un sistema de transmisión de un único canal o bien un sistema de transmisión de múltiples canales (por ejemplo, sistemas de transmisión de Multiplexación por División en Longitud de Onda o, brevemente, de WDM (“Wavelength División Multiplexing”). Las longitudes de onda de canal son generalmente establecidas por normas que definen, entre otros parámetros, la posición del canal, la tolerancia en la longitud de onda del canal y, en el caso de sistemas de transmisión de múltiples canales, la separación entre los canales. Por ejemplo, la norma de WDM Densa define una parrilla de canales equidistantes entre 1.530 nm y 1.610 nm; la separación entre canales es 0,8 nm y la tolerancia en la longitud de onda del canal es aproximadamente +/-0,1 nm. Otro ejemplo es la norma de WDM Grosera, la cual define una parrilla de canales equidistantes entre 1.270 nm y 1.610 nm; la separación entre canales es 20 nm y la tolerancia en la longitud de onda del canal es +/-6,5 nm.

Hablando de forma general, la reducción de la separación entre canales tiene como resultado un sistema de transmisión de WDM más caro. Ciertamente, canales más cercanos requieren transmisores más costosos, ya que la longitud de onda de la fuente de láser del transmisor debe ser más estable. Ello requiere unos equipos de control de temperatura y de corriente de alimentación más precisos y, por tanto, más costosos. Por otra parte, la reducción de la separación de los canales también aumenta el coste de los multiplexadores y demultiplexadores, puesto que se hacen más complejos de diseñar y de fabricar.

Como ya se ha mencionado, en un sistema de transmisión óptica, la información es transmitida por medio de señales ópticas. Más concretamente, los datos que se han de transmitir comprenden una secuencia de bits. Así, pues, la señal óptica que transporta dicha secuencia de bits consiste en una portadora a la longitud de onda del canal que está siendo modulada por la secuencia de bits. La anchura de la trama temporal que se requiere para la transmisión de un único bit (o periodo de bit) determina la velocidad de transmisión de bits del sistema de transmisión óptica, la cual se mide en bit/s. Por ejemplo, si el periodo de bit es 100 ps, la velocidad de transmisión de bits es $10 \cdot 10^9$ bit/s = 10 Gbit/s.

Se conocen en el campo de las transmisiones ópticas diferentes formatos de modulación. En la descripción que sigue, se supone que la secuencia de bits modula la portadora por medio de una modulación de amplitud binaria, en la que un impulso óptico con una amplitud sustancialmente diferente de cero se asocia con un primer nivel lógico “1”, en tanto que se asocia un impulso óptico con una amplitud sustancialmente igual a cero a un segundo nivel lógico “0”. Sin embargo, es posible proporcionar también cualquier otro formato de modulación (modulación en frecuencia, modulación en fase, modulaciones de múltiples niveles...).

Típicamente, la anchura de cada impulso es menor o igual que el periodo de bit, de tal manera que los impulsos consecutivos no se solapan temporalmente. Esto permite que el receptor distinga los impulsos consecutivos y los asocie a niveles lógicos correspondientes “1” o “0”.

Sin embargo, durante la propagación, los impulsos pueden cambiar su forma, en particular, su amplitud y su anchura, debido a un efecto que se denomina dispersión.

La dispersión es un efecto en el que las ondas con diferentes longitudes de onda se propagan a velocidades diferentes dentro de un material. Como un impulso comprende la superposición de ondas de diferentes longitudes de onda, tales ondas se propagan dentro de una fibra óptica a velocidades diferentes, por lo que se modifica la forma del impulso. En particular, la anchura del impulso se incrementa y la amplitud del impulso se ve correspondientemente reducida. La anchura del impulso se incrementa con el aumento de la longitud de la fibra óptica. Por otra parte, la anchura del impulso crece de acuerdo con un coeficiente que recibe el nombre de dispersión cromática, cuyo valor depende de las características de la fibra óptica y que se expresa en ps/nm/km. La dispersión cromática de una fibra óp-

ES 2 323 882 T3

tica es, sustancialmente, el retardo (expresado en ps) en el tiempo de propagación de dos ondas que tienen longitudes de onda separadas por 1 nm, a lo largo de un tramo con una longitud de 1 km de dicha fibra óptica.

5 Ha de apreciarse que la dispersión cromática es positiva en el caso en que las ondas con longitudes de onda más altas se propagan a mayor velocidad que las ondas con longitudes de onda más bajas. Por el contrario, la dispersión cromática es negativa en el caso de que las ondas con longitudes de onda más altas se propaguen a menor velocidad con respecto a las ondas con longitudes de onda más bajas.

10 Además, la dispersión cromática de una fibra óptica depende de la longitud de onda de la señal óptica que se propaga a través de la fibra óptica. Típicamente, en las fibras ópticas para sistemas de transmisión óptica, la dispersión cromática aumenta con la longitud de onda, al menos en el intervalo de longitudes de onda que se utiliza típicamente para los sistemas de transmisión óptica. La dispersión cromática de tales fibras ópticas se hace cero a una longitud de onda de dispersión nula. Por ejemplo, las fibras ópticas G.652, que están normalizadas por la Recomendación ITU-T del mismo nombre, presentan una longitud de onda de dispersión nula en aproximadamente 1.310 nm. Por otra parte, 15 las fibras ópticas G.653, que están normalizadas por la Recomendación ITU-T del mismo nombre, tienen una longitud de onda de dispersión nula en aproximadamente 1.550 nm. La longitud de onda de dispersión nula de una fibra óptica se define, generalmente, con una tolerancia de longitud de onda de dispersión nula, tal y como se expondrá aquí con mayor detalle más adelante. Dicha tolerancia de longitud de onda de dispersión nula puede ser indicada, bien en la Recomendación de ITU-T relevante de la fibra óptica o bien en las especificaciones de la fibra proporcionadas por los 20 suministradores de fibra óptica.

Hablando en general, la dispersión afecta a los comportamientos o rendimientos de un sistema de transmisión de fibra óptica. En efecto, en un sistema de transmisión óptica, los impulsos son recibidos por un receptor. El receptor 25 asocia a cada impulso un valor lógico respectivo "1" o "0". Sin embargo, si la forma del impulso es distorsionada debido a la dispersión (mayor anchura de impulso y amplitud de impulso más pequeña), el receptor ya no es capaz de asociar correctamente cada impulso al valor lógico respectivo. Puede demostrarse por medio de ecuaciones que no se aportan en la presente descripción, que, en caso de la no linealidad de la fibra sea despreciable, el rendimiento de un sistema de transmisión óptica se deteriora al incrementarse la velocidad de transmisión de bits y con el aumento de la dispersión acumulada, de tal manera que la dispersión acumulada se define como el producto de la dispersión 30 cromática de una fibra óptica por la longitud de dicha fibra óptica. Ha de apreciarse que el rendimiento de un sistema de transmisión óptica también depende de otros parámetros del sistema (formato de modulación, umbral del receptor y similares). Sin embargo, los efectos de estos parámetros no se tomarán en cuenta en la presente descripción.

35 Así pues, una vez que se han establecido la velocidad de transmisión de bits y los otros parámetros del sistema (formato de modulación, umbral del receptor y similares) de un sistema de transmisión óptica, puede estimarse un intervalo de dispersiones acumuladas toleradas dentro del cual son aceptables los rendimientos del sistema. Por ejemplo, un sistema de transmisión óptica con una velocidad de transmisión de bits de 10 Gbit/s puede tener un intervalo de dispersiones acumuladas toleradas de entre -960 ps/nm y 960 ps/nm. Si, en el mismo sistema de transmisión óptica, la velocidad de transmisión de bits se incrementa a 40 Gbit/s, el intervalo de dispersiones acumuladas toleradas se 40 convierte en entre -60 ps/nm y 50 ps/nm.

De esta forma, en el extremo o final del enlace de fibra óptica de un sistema de transmisión óptica, la dispersión acumulada de una señal óptica ha de estar comprendida dentro de dicho intervalo de dispersiones acumuladas toleradas. 45

Una técnica conocida para proporcionar, en un sistema de transmisión óptica, una señal óptica con una dispersión acumulada comprendida dentro de un intervalo de dispersiones acumuladas toleradas, es la denominada técnica de compensación de la dispersión. La técnica de compensación de la dispersión consiste en dotar a cada tramo de un enlace de un compensador de dispersión respectivo, el cual introduce en la señal óptica una dispersión de compen- 50 sación, es decir, una dispersión de signo opuesto con respecto a la dispersión del tramo. Dichos compensadores de la dispersión pueden ser implementados por medio de Fibras de Compensación de la Dispersión (DCF -"Dispersion Compensating Fibers") u otros componentes dispersivos, tales como las redes o rejillas de Bragg. En consecuencia, la dispersión acumulada de una señal óptica en el extremo del enlace es la suma de la dispersión acumulada de los tramos y la dispersión acumulada de los compensadores de dispersión. Las dispersiones de compensación se ajustan de tal 55 manera que la dispersión acumulada en el extremo del enlace esté comprendida dentro del intervalo de dispersiones acumuladas toleradas.

Dicha técnica de compensación de la dispersión tiene algunas desventajas. En primer lugar, proporcionar un compensador de la dispersión para cada tramo aumenta el coste del sistema de transmisión óptica. Además, los compen- 60 sadores de dispersión absorben una parte de la potencia de la señal óptica. Tal absorción ha de ser compensada, por ejemplo, aumentando la potencia óptica del transmisor; esto aumenta, sin embargo, tanto el coste del transmisor como la complejidad de los equipos de seguridad del transmisor. Como alternativa, la absorción puede ser compensada aumentando la ganancia de los amplificadores; esto aumenta, sin embargo, tanto el coste de los amplificadores como la complejidad de los equipos de seguridad de los amplificadores. Como alternativa, puede proporcionarse un amplifica- 65 dor de doble etapa al final de cada tramo, y el compensador de dispersión respectivo puede insertarse entre la primera etapa y la segunda etapa del amplificador; esto aumenta, sin embargo, el coste del amplificador. Como alternativa, puede proporcionarse un receptor de alta sensibilidad; esto aumenta, sin embargo, el coste del receptor.

ES 2 323 882 T3

El documento US 5.809.196 describe un sistema de telecomunicación óptica que tiene una línea que comprende una fibra óptica que tiene un valor de dispersión cromática inferior a un valor predeterminado dentro de la banda de longitudes de onda de transmisión y que crece a medida que aumenta la longitud de onda.

5 El documento US 6.055.352 describe un transmisor óptico optimizado en el cual se introduce intencionadamente una dispersión de fibra negativa dentro del sistema mediante la selección de la longitud de onda operativa de tal modo que sea inferior al valor nominal de dispersión nula.

10 El documento WO 99/43118 describe una multiplexación por división en longitud de onda densa con una banda de 1.319 nm, que se lleva a cabo a lo largo de una fibra monomodal o de un único modo. La longitud de onda de portadora se selecciona de dentro de dos ventanas situadas a ambos lados de una banda de guarda o separación. La banda de guarda incluye la longitud de onda de dispersión nula de una fibra monomodal.

15 El propósito de la presente invención es proporcionar un método para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica, según el cual la señal óptica, en el extremo del enlace de fibra óptica, tiene una dispersión acumulada que está comprendida dentro de un intervalo de dispersiones acumuladas toleradas, lo que resulta menos caro que la técnica de compensación de dispersión anteriormente mencionada y puede llevarse a la práctica sin necesidad de proporcionar al sistema de transmisión óptica dispositivos adicionales.

20 Este y otros propósitos se consiguen por medio de un método para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica, de acuerdo con la reivindicación 1, mediante un sistema de transmisión óptica de acuerdo con la reivindicación 11, y por medio de un método para seleccionar una longitud de onda de transmisión para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica, de acuerdo con la reivindicación 21. Características ventajosas adicionales se establecen en las respectivas reivindicaciones dependientes. Todas las reivindicaciones se consideran parte integral de la presente descripción.

25 De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica. El método comprende: proporcionar una cierta longitud de una fibra óptica que tiene una longitud de onda de dispersión cromática nula, de tal manera que la fibra óptica pertenece a un grupo de fibras ópticas, y de modo que el grupo de fibras ópticas comprende fibras ópticas que tienen una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida dentro de un cierto intervalo de longitudes de onda; estimar un intervalo de dispersiones cromáticas toleradas; y transmitir la señal óptica a lo largo de la longitud de fibra óptica, en una primera longitud de onda de transmisión. El método está caracterizado por estimar, dentro del intervalo de longitudes de onda, al menos un intervalo incluido o sub-intervalo de longitudes de onda, de tal manera que el al menos un sub-intervalo de longitudes de onda es tal, que una señal óptica se ve afectada por una dispersión cromática que está comprendida dentro de un intervalo de dispersiones cromáticas toleradas, cuando se transmite la señal óptica

a) en cualquier longitud de onda del al menos un sub-intervalo, y

40 b) por cualquier fibra óptica de al menos un subgrupo de fibras ópticas del grupo de fibras ópticas,

de tal modo que la primera longitud de onda de transmisión está comprendida dentro del al menos un sub-intervalo de longitudes de onda.

45 De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención proporciona un sistema de transmisión óptica que comprende: una cierta longitud de una fibra óptica que tiene una longitud de onda de dispersión cromática nula, de tal manera que la fibra óptica pertenece a un grupo de fibras ópticas, y de modo que el grupo de fibras ópticas comprende fibras ópticas que tienen una longitud de onda de dispersión cromática nula, comprendida dentro de un cierto intervalo de longitudes de onda; y un transmisor que está configurado para transmitir la señal óptica a lo largo de la longitud de fibra óptica, en una primera longitud de onda de transmisión. El sistema está caracterizado por que la primera longitud de onda de transmisión está comprendida dentro de un cierto intervalo incluido o sub-intervalo de longitudes de onda, de tal modo que el sub-intervalo de longitudes de onda está comprendido dentro del intervalo de longitudes de onda, y es tal, que una señal óptica se ve afectada por una dispersión cromática que está comprendida dentro de un intervalo de dispersiones cromáticas toleradas, cuando la señal óptica es transmitida en cualquier longitud de onda del sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{\min} , λ_{\max}), y por cualquier fibra óptica de un subgrupo de fibras ópticas del grupo de fibras ópticas.

60 De esta forma, gracias al método de acuerdo con la presente invención, los costes adicionales debidos tanto a los dispositivos adicionales como a la necesidad de compensar la absorción de potencia de tales dispositivos adicionales, son evitados. La reducción del coste global del sistema de transmisión óptica resulta particularmente interesante en aplicaciones de WDM Grosera, en las que se requieren, específicamente, sistemas transmisión de bajo coste. Sin embargo, el método de la invención puede ser también aplicado, ventajosamente, a la WDM Densa, en la que puede ayudar a reducir, al menos parcialmente, el coste total del sistema.

65 Es más, ventajosamente, de acuerdo con la presente invención, diseñar un sistema de transmisión óptica sencillamente requiere conocer el tipo de fibra óptica (G.652, G.653, G.655 ó similar) de la fibra óptica comprendida dentro del enlace, aunque no es necesario conocer la curva de dispersión cromática exacta de la fibra óptica específica com-

ES 2 323 882 T3

prendida en el enlace. Esto resulta, por ejemplo, particularmente ventajoso cuando se ha de diseñar un sistema de transmisión óptica cuyo enlace ha sido instalado con anterioridad, y/o lo ha sido por un operador diferente.

5 Otras características y ventajas adicionales de la presente invención se elucidarán por la siguiente descripción, proporcionada a modo de ejemplo no limitativo, para ser leída con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

10 - las Figuras 1a y 1b muestran esquemáticamente un sistema de transmisión óptica de un único canal y un sistema de transmisión de WDM, respectivamente, que implementan la técnica de compensación de dispersión conocida;

- las Figuras 2a y 2b muestran cualitativamente la dispersión de una señal óptica acumulada durante la propagación por el sistema de transmisión óptica de la Figura 1a ó la Figura 1b, y por un sistema de transmisión óptica de acuerdo con la presente invención, respectivamente;

15 - la Figura 3 muestra un diagrama de la dispersión cromática frente a la longitud de onda, que está configurado para seleccionar una longitud de onda de transmisión de una señal óptica de acuerdo con una primera realización de la presente invención;

20 - la Figura 4 muestra un diagrama de la dispersión cromática frente a la longitud de onda, que está configurado para seleccionar longitudes de onda de transmisión de dos señales ópticas de acuerdo con una segunda realización de la presente invención;

25 - la Figura 5 muestra un diagrama de la dispersión cromática frente a la longitud de onda, en el cual no puede ser estimado un intervalo incluido o sub-intervalo de longitudes de onda según se define de acuerdo con dichas primera y segunda realizaciones de la presente invención;

30 - la Figura 6 muestra un diagrama de la dispersión cromática frente a la longitud de onda, que está configurado para seleccionar una longitud de onda de transmisión de una señal óptica de acuerdo con una tercera realización de la presente invención; y

- la Figura 7 muestra un diagrama de la dispersión cromática frente a la longitud de onda, que está configurado para seleccionar una longitud de onda de transmisión de una señal óptica de acuerdo con una cuarta realización de la presente invención.

35 La Figura 1a muestra un sistema de transmisión óptica TS de un único canal. El sistema de transmisión óptica TS comprende un transmisor TX, un receptor RX y un enlace Lk ("Link"). Como ya se ha mencionado, el transmisor TX está configurado para transmitir una señal óptica en una cierta longitud de onda de transmisión a través del enlace Lk.

40 El enlace Lk comprende m tramos en cascada, s_1, \dots, s_m , de fibra óptica. En el caso de que m sea igual a 1, se hace referencia, típicamente, al sistema de transmisión óptica como "sistema de transmisión de un solo tramo". En la presente descripción, en aras de la simplicidad, se supondrá que todos los tramos tienen la misma longitud "l". Además, se referirá como "L" la longitud de todo el enlace. Por lo tanto, $L = ml$.

45 Como ya se ha mencionado, cada tramo s_1, \dots, s_m puede comprender un amplificador respectivo A_1, \dots, A_m . En el extremo o final del enlace Lk, la señal óptica es recibida en el receptor RX.

50 La Figura 1b muestra un sistema de transmisión de WDM, TS'. El sistema de transmisión de WDM de la Figura 1b está configurado para transmitir n canales (de tal modo que n es un entero > 1) desde un equipo de transmisión TE a un equipo de recepción RE. El equipo de transmisión TE comprende n transmisores TX1, TX2, ..., TXn. Cada transmisor está configurado para transmitir a una longitud de onda de transmisión de una parrilla de canales de WDM (por ejemplo, WDM Densa o WDM Grosera). El equipo de transmisión TE comprende adicionalmente un multiplexador MUX, que está configurado para recibir las n señales ópticas desde los transmisores TX1, TX2, ..., TXn, para multiplexarlas y transmitir las a lo largo de un enlace Lk. El equipo de recepción RE comprende un desmultiplexador DMUX, que está configurado para recibir las n señales ópticas entrantes desde el enlace Lk, y para desmultiplexarlas. 55 Tras la desmultiplexación, el desmultiplexador DMUX envía cada señal óptica a un receptor respectivo RX1, RX2, RXn.

60 El enlace Lk es similar al enlace Lk de la Figura 1a; por lo tanto, no se reiterará una descripción del enlace Lk de la Figura 1b.

Tanto el sistema de transmisión de un único canal de la Figura 1a como el sistema de transmisión de WDM de la Figura 1b implementan la técnica de compensación de dispersión conocida, que se ha descrito en lo anterior. Tal y como se muestra en las Figuras 1a y 1b, de acuerdo con la técnica de compensación de la dispersión, cada tramo s_1, \dots, s_m comprende un compensador de dispersión respectivo DC1, ..., DCm. Ha de apreciarse que, en las Figuras 1a y 1b, cada compensador de dispersión se inserta entre el tramo respectivo y el amplificador respectivo. Sin embargo, en el caso de que los amplificadores A_1, \dots, A_m sean amplificadores de dos etapas, el compensador de dispersión puede también insertarse entre las dos etapas del amplificador respectivo.

ES 2 323 882 T3

La Figura 2a muestra cualitativamente la dispersión acumulada AD, en función de la coordenada de propagación z, de una señal óptica transmitida, bien dentro del sistema de transmisión de un único canal, TS, de la Figura 1a o bien dentro del sistema de transmisión de WDM, TS', de la Figura 1b. El gráfico de la Figura 2a no está a escala.

5 Como ya se ha mencionado, la dispersión acumulada AD se define como el producto de la dispersión cromática de una fibra óptica por la longitud de dicha fibra óptica. Así, pues, la dispersión acumulada de una señal óptica, que ha viajado a lo largo de una cierta longitud z de una fibra óptica, es $D*z$, donde D es la dispersión cromática de la fibra óptica. De esta forma, en el extremo o final del primer tramo s1 (es decir, en $z = l$), la dispersión cromática acumulada es $D*l$, tal como se muestra en la Figura 1a. En el extremo o final del primer tramo s1, se ha proporcionado
10 un compensador de dispersión DC1; de esta forma, la dispersión acumulada de la señal óptica se reduce a un valor que es menor que $D*l$ (por ejemplo, en la Figura 2, dicho valor es igual a cero). Entonces, por la propagación a lo largo del segundo tramo s2, la dispersión acumulada se incrementa de nuevo, hasta el valor máximo $D*l$ en $z = 2l$. En $z = 2l$, el compensador de dispersión DC2 reduce de nuevo la dispersión acumulada de la señal óptica a un valor que es inferior a $D*l$ (por ejemplo, en la Figura 2a, dicho valor es igual a cero). Y así sucesivamente hasta el último tramo sm, en el
15 que el compensador DCm reduce la dispersión acumulada de la señal óptica a un valor que está comprendido dentro de un intervalo de dispersiones acumuladas [ADmin, ADmax].

La Figura 2a muestra un caso ideal en el que todos los tramos s1, s2,..., sm tienen la misma longitud l, con lo que se introduce, por tanto, la misma dispersión acumulada $D*l$. Por otra parte, se supone que los compensadores de dispersión DC1, DC2,..., DCm compensan por completo la dispersión acumulada $D*l$ introducida por cada tramo, de tal modo que, al comienzo de cada tramo, la dispersión acumulada residual de la señal óptica es igual a cero. Esto es, por supuesto, una simplificación, ya que en los sistemas de transmisión óptica reales los tramos tienen generalmente diferentes longitudes y las dispersiones acumuladas residuales son distintas de cero.

25 La Figura 2b muestra cualitativamente la dispersión acumulada AD, en función de la coordenada de propagación z, de una señal óptica transmitida dentro de un sistema de transmisión de acuerdo con la presente invención, tal y como se explicará aquí con mayor detalle más adelante. El gráfico de la Figura 2b no está a escala. En lugar de compensar la dispersión de cada tramo por medio de un compensador de dispersión, la idea básica del método de acuerdo con la presente invención es transmitir una señal óptica a una longitud de transmisión tal, que la dispersión acumulada
30 de la señal óptica siempre se incrementa durante la propagación a lo largo del enlace Lk, y la dispersión acumulada al final del enlace Lk está comprendida dentro de un intervalo de dispersiones acumuladas toleradas. El gráfico de la Figura 2b muestra que la dispersión acumulada aumenta linealmente en función de la coordenada de propagación z, hasta que, para $z = L$, la dispersión acumulada alcanza su valor máximo $D*L$, que está comprendido entre ADmin y ADmax. La presente invención, en particular, proporciona un método para seleccionar adecuadamente dicha longitud
35 de onda de transmisión, de tal manera que la dispersión cromática de la fibra óptica comprendida en el enlace sea tal, que $ADmin \leq D*L \leq ADmax$.

La Figura 3 muestra un diagrama de la dispersión cromática frente a la longitud de onda, que está configurado para seleccionar una longitud de onda de transmisión de una señal óptica de acuerdo con una primera realización de la presente invención.

Como ya se ha mencionado, la dispersión cromática de una fibra óptica es una función de la longitud de onda. Las fibras ópticas que se utilizan típicamente en sistemas de transmisión óptica tienen curvas de dispersión cromática con las siguientes características:

- 45 - la curva de dispersión cromática aumenta con la longitud de onda, al menos en el intervalo de longitudes de onda que se utiliza por lo común para los sistemas de transmisión óptica;
- la curva de dispersión cromática es igual a cero a una longitud de onda de dispersión nula; y
- 50 - la curva de dispersión cromática se define, para un tipo de fibra óptica dado (G.652, G.653, G.655 ó similar) con una cierta tolerancia.

55 Más particularmente, para un tipo dado de fibra, la curva de dispersión cromática debe estar comprendida entre una curva de dispersión cromática mínima y una curva de dispersión cromática máxima. Hablando generalmente, para un tipo de fibra óptica dado, la curva de dispersión cromática mínima puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$60 \quad D(\lambda, \lambda_{0 \max}) = \frac{\lambda S_{0 \max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0 \max}}{\lambda} \right)^4 \right], \quad (1)$$

65

ES 2 323 882 T3

y la curva de dispersión cromática máxima puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$D(\lambda, \lambda_{0\min}) = \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right]. \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2), $S_{0\max}$ es la pendiente de la dispersión, $\lambda_{0\min}$ es la longitud de onda de dispersión nula mínima, y $\lambda_{0\max}$ es la longitud de onda de dispersión nula máxima. Para un tipo de fibra óptica dado, los valores de $S_{0\max}$, $\lambda_{0\min}$ y $\lambda_{0\max}$ pueden proporcionarse, bien por las Recomendaciones de ITU-T o bien por las especificaciones de la fibra proporcionadas por los proveedores de fibra.

La Figura 3 muestra una curva de dispersión cromática máxima $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y una curva de dispersión cromática mínima $D(\lambda, \lambda_{0\max})$, según se definen por las ecuaciones (1) y (2). En la descripción que sigue, la expresión “grupo de fibras” se referirá al conjunto de todas las fibras ópticas de un tipo dado de fibras, es decir, al conjunto de todas las fibras ópticas cuyas curvas de dispersión cromática son sustancialmente paralelas a $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ y están comprendidas entre $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$. Por ejemplo, la Figura 3 muestra tres curvas de dispersión cromática D1, D2 y D3, que están asociadas con tres fibras ópticas diferentes pertenecientes al grupo de fibras definido por $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$.

La curva de dispersión cromática máxima $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ es igual a cero en una longitud de onda de dispersión nula $\lambda_{0\min}$, en tanto que la curva de dispersión cromática mínima $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ es igual a cero en una longitud de onda de dispersión nula $\lambda_{0\max}$. Por ejemplo, para el tipo de fibra G.652, $\lambda_{0\min}$ es igual a 1.300 nm, en tanto que la $\lambda_{0\max}$ es igual a 1.324 nm.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el método de acuerdo con la presente invención comprende proporcionar un intervalo de dispersiones acumuladas toleradas $[AD_{\min}; AD_{\max}]$. El método para estimar tal intervalo de dispersiones acumuladas toleradas $[AD_{\min}; AD_{\max}]$ no constituye un objeto de la presente invención. Una vez que se ha estimado el intervalo de dispersiones acumuladas toleradas $[AD_{\min}; AD_{\max}]$, si L es la longitud del enlace, puede estimarse un intervalo de dispersiones cromáticas toleradas $[D_{\min}; D_{\max}]$ de la forma que sigue:

$$D_{\min} = AD_{\min}/L,$$

y

$$D_{\max} = AD_{\max}/L.$$

Por ejemplo, como ya se ha mencionado, en un sistema de transmisión óptica de 40 Gbit/s, el intervalo de dispersiones acumuladas toleradas puede estar comprendido entre $AD_{\min} = -60$ ps/nm y $AD_{\max} = 60$ ps/nm. En consecuencia, si la longitud del enlace es 40 km:

$$D_{\min} = AD_{\min}/L = -1,5 \text{ ps/nm}\cdot\text{km},$$

y

$$D_{\max} = AD_{\max}/L = 1,5 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}.$$

El presente Solicitante ha observado que, dentro del intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{0\min}; \lambda_{0\max}]$, es posible estimar un intervalo incluido o sub-intervalo de longitudes de onda en el cual ambas curvas de dispersión cromática $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ están comprendidas entre D_{\min} y D_{\max} . En particular, el presente Solicitante ha observado que dicho sub-intervalo de longitudes de onda tiene una longitud de onda mínima λ_{\min} que puede definirse como la longitud de onda en la cual la curva $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ es igual a D_{\min} (punto “a” en la Figura 3), y una longitud de onda máxima λ_{\max} que puede ser definida como la longitud de onda en la que la curva $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ es igual a D_{\max} (punto “b” en la Figura 3).

Ha de apreciarse que, para cualquier longitud de onda comprendida dentro del sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$, también las curvas de dispersión cromática D1, D2 y D3, que son sustancialmente paralelas a $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ y que se encuentran comprendidas entre $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$, están comprendidas entre D_{\min} y D_{\max} .

Desde el punto de vista físico, esto significa que una señal óptica que es transmitida en una longitud de onda de transmisión comprendida dentro del sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$, a lo largo de cualquier

ES 2 323 882 T3

fibra óptica del grupo de fibras que está definido por $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$, se ve afectada por una dispersión cromática que está comprendida dentro del intervalo de dispersiones cromáticas toleradas $[D_{\min}; D_{\max}]$. Así, pues, después de propagarse a lo largo de un enlace L_k cuya longitud es L , la señal óptica tendrá una dispersión cromática acumulada comprendida dentro del intervalo de dispersión cromática acumulada $[AD_{\min}; AD_{\max}]$.

5 Por lo tanto, de acuerdo con esta primera realización de la presente invención, el sistema de transmisión óptica está dotado de un transmisor que está configurado para transmitir una señal óptica en una longitud de onda de transmisión λ_t que está comprendida dentro del sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$. Sin embargo un transmisor que tiene una longitud de onda de transmisión λ_t transmite una señal óptica en una longitud de onda de transmisión
10 real que está comprendida entre $\lambda_t - \Delta\lambda_t$ y $\lambda_t + \Delta\lambda_t$, donde $\Delta\lambda_t$ es la tolerancia de longitud de onda de transmisión del transmisor. Así, pues, con el fin de que la longitud de onda de transmisión real esté comprendida dentro del sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$, la tolerancia $\Delta\lambda_t$ de longitud de onda de transmisión debe ser tal, que $\lambda_t - \Delta\lambda_t$ sea mayor o igual que λ_{\min} , y que $\lambda_t + \Delta\lambda_t$ sea menor o igual que λ_{\max} , tal y como se muestra en la Figura 3.

15 Por ejemplo, en el caso de la transmisión a lo largo de un enlace de 40 km de fibra óptica G.652, $\lambda_{0\min}$ es igual a 1.300 nm y $\lambda_{0\max}$ es igual a 1.324 nm. Suponiendo una velocidad de transmisión de bits de 40 Gbit/s, $D_{\min} = -1,5$ ps/nm/km y $D_{\max} = 1,5$ ps/nm/km. Así, pues, de acuerdo con la primera realización de la presente invención, λ_{\min} es igual a 1.308 nm, en tanto que λ_{\max} es igual a 1.316 nm. De esta forma, por ejemplo, el transmisor puede tener una longitud de onda de transmisión λ_t igual a 1.312 nm, con una tolerancia de longitud de onda de transmisión de $\Delta\lambda_t$,
20 menor o igual que 4 nm. Ha de apreciarse que una tolerancia de 4 nm puede obtenerse con un transmisor de un coste relativamente bajo, con lo que se obtiene una reducción global en el coste del sistema de transmisión óptica.

La Figura 4 muestra una segunda realización de la presente invención, en la cual el sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$ se utiliza para implementar un sistema de transmisión de múltiples canales (por ejemplo, un sistema de transmisión de WDM Densa o un sistema de transmisión de WDM Grosera). En la realización de la Figura 4, se transmiten dos señales ópticas con dos longitudes de onda de transmisión diferentes. Por supuesto, es posible proporcionar un número más alto de canales.

El sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$ se estima mediante la aplicación del método según se ha descrito con referencia a la Figura 3.

Así, pues, de acuerdo con esta segunda realización de la invención, el sistema de transmisión óptica está dotado de dos transmisores, de tal modo que cada transmisor está configurado para transmitir una señal óptica respectiva en una longitud de onda de transmisión respectiva λ_{t1} , λ_{t2} , que está comprendida dentro del sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$. Similarmente a la primera realización de la invención, ambos transmisores tienen longitudes de onda de transmisión λ_{t1} , λ_{t2} , y una tolerancia de longitud de onda de transmisión tal, que los intervalos de tolerancia de longitud de onda de transmisión $[\lambda_{t1} - \Delta\lambda_{t1}'; \lambda_{t1} + \Delta\lambda_{t1}']$ y $[\lambda_{t2} - \Delta\lambda_{t2}'; \lambda_{t2} + \Delta\lambda_{t2}']$ están comprendidos dentro del sub-intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{\min}; \lambda_{\max}]$ y no se solapan entre sí. Es más, los dos intervalos de tolerancia de longitud de onda de transmisión $[\lambda_{t1} - \Delta\lambda_{t1}'; \lambda_{t1} + \Delta\lambda_{t1}']$ y $[\lambda_{t2} - \Delta\lambda_{t2}'; \lambda_{t2} + \Delta\lambda_{t2}']$ deben estar separados por un intervalo de longitudes de onda (tal y como se muestra en la Figura 4) cuya anchura depende de las características de los filtros, de los multiplexadores y de otros componentes del sistema de transmisión de WDM dependientes de la longitud de onda. Así, pues, esto requiere transmisores más estables, con una tolerancia de longitud de onda de transmisión más pequeña.

El método para seleccionar la longitud de onda de transmisión de una señal óptica de acuerdo con la presente invención proporciona, además de la primera y la segunda realizaciones que se muestran, respectivamente, en las Figuras 3 y 4, realizaciones adicionales. De acuerdo con estas realizaciones adicionales, el intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{0\min}; \lambda_{0\max}]$ se divide en un cierto número de sub-intervalos de longitudes de onda. Una señal óptica transmitida en cualquier longitud de onda comprendida dentro de cada uno de dichos sub-intervalos de longitudes de onda, se ve afectada por una dispersión cromática comprendida dentro de un intervalo de dispersiones cromáticas toleradas, en el caso de que dicha señal óptica se propague a lo largo de cualquier fibra óptica que pertenezca a un subgrupo de fibras definido por $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$.

La Figura 5 muestra un caso en el que no hay ninguna longitud de onda comprendida dentro del intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{0\min}; \lambda_{0\max}]$ que sea tal, que tanto $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ como $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ estén comprendidas entre D_{\min} y D_{\max} . Esto es debido al hecho de que el punto "a" de intersección entre $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ y D_{\min}' se desplaza hacia longitudes de onda más grandes, en tanto que el punto "b" de intersección entre $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y D_{\max}' se desplaza hacia longitudes de onda más pequeñas, hasta que a' está a la derecha de b'. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando la longitud L del enlace se incrementa; ello reduce el intervalo de dispersiones cromáticas toleradas $[D_{\min}, D_{\max}]$ a un nuevo intervalo de dispersiones cromáticas toleradas $[D_{\min}', D_{\max}']$ que es más estrecho.

La Figura 6 muestra una tercera realización de la invención, que puede ser implementada cuando se produce la situación que se muestra en la Figura 5.

La Figura 6 muestra las dos curvas $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ que definen un grupo de fibras. La Figura 6 muestra también el nuevo intervalo de dispersiones cromáticas toleradas, $[D_{\min}', D_{\max}']$. El intervalo de longitudes de onda $[\lambda_{0\min}; \lambda_{0\max}]$ se divide, en esta tercera realización, en un cierto número de N sub-intervalos de longitudes de onda contiguos pero no superpuestos, de tal manera que N es un entero igual o mayor que 2. En la Figura 6 se muestran

ES 2 323 882 T3

cuatro sub-intervalos SR1, SR2, SR3 y SR4; el número N óptimo de sub-intervalos de longitudes de onda se escoge de acuerdo con criterios que se explicarán aquí, más adelante.

Una vez que se ha escogido N, pueden estimarse las longitudes de onda mínima y máxima de cada sub-intervalo de longitudes de onda de la manera que sigue. Si N es el número de sub-intervalos, la anchura de cada sub-intervalo de longitudes de onda es $w = (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})/N$. De esta forma, en el caso de que N sea igual a 4:

- SR1: $\lambda_{1\min} = \lambda_{0\min}$, $\lambda_{1\max} = \lambda_{1\min} + w$;

- SR2: $\lambda_{2\min} = \lambda_{1\max}$, $\lambda_{2\max} = \lambda_{2\min} + w$;

- SR3: $\lambda_{3\min} = \lambda_{2\max}$, $\lambda_{3\max} = \lambda_{3\min} + w$; y

- SR4: $\lambda_{4\min} = \lambda_{3\max}$, $\lambda_{4\max} = \lambda_{4\min} + w = \lambda_{0\max}$.

Puede apreciarse que las longitudes de onda $\lambda_{2\min} = \lambda_{1\max}$, $\lambda_{3\min} = \lambda_{2\max}$ y $\lambda_{4\min} = \lambda_{3\max}$ son longitudes de onda de dispersión nula, respectivamente, de las curvas de dispersión cromática D1, D2 y D3. Así, pues, el grupo de fibras definido por $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$ se divide en cuatro subgrupos de fibras. Cada subgrupo está asociado con un sub-intervalo de longitudes de onda respectivo SR1, SR2, SR3 y SR4, y se define como sigue:

- el primer subgrupo de fibras comprende fibras ópticas que tienen curvas de dispersión cromática (no mostradas) sustancialmente paralelas a $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y a D1, y que están comprendidas entre $D(\lambda, \lambda_{0\min})$ y D1;

- el segundo subgrupo de fibras comprende fibras ópticas que tienen curvas de dispersión cromática (no mostradas) sustancialmente paralelas a D1 y a D2, y que están comprendidas entre D1 y D2;

- el tercer subgrupo de fibras comprende fibras ópticas que tienen curvas de dispersión cromática (no mostradas) sustancialmente paralelas a D2 y a D3, y que están comprendidas entre D2 y D3; y

- el cuarto subgrupo de fibras comprende fibras ópticas que tienen curvas de dispersión cromática (no mostradas) sustancialmente paralelas a D3 y a $D(\lambda, \lambda_{0\max})$, y que están comprendidas entre D3 y $D(\lambda, \lambda_{0\max})$.

Puede apreciarse que, en el primer sub-intervalo de longitudes de onda SR1, todas las curvas de dispersión cromática (no mostradas) de fibras ópticas del primer subgrupo de fibras, están comprendidas entre D_{\min} y D_{\max} . Lo mismo se aplica también a los otros sub-intervalos de longitudes de onda SR2, SR3 y SR4.

Así, pues, de acuerdo con esta tercera realización de la invención, el sistema de transmisión óptica está provisto de un transmisor que está configurado para transmitir una señal óptica en una longitud de onda de transmisión λ_t . De acuerdo con esta tercera realización, la longitud de onda de transmisión λ_t es una longitud de onda perteneciente a un conjunto discreto de longitudes de onda $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$; cada una de las longitudes de onda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ está comprendida dentro de un sub-intervalo de longitudes de onda respectivo SR1, SR2, SR3, SR4, tal y como se muestra en la Figura 6. En otras palabras, de acuerdo con esta tercera realización, el transmisor es sintonizable de forma discreta. Por ejemplo, el transmisor puede comprender un número N de fuentes de láser (cuatro, en referencia a la Figura 6), de tal modo que cada fuente de láser está configurada para transmitir una señal óptica en una longitud de onda respectiva $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ y λ_4 .

El transmisor sintonizable de forma discreta anteriormente descrito puede ser empleado, por ejemplo, en un sistema de transmisión óptica en el que el enlace comprende una fibra óptica cuyo tipo (G.652, G.653, G.655 ó similar) es conocido, en tanto que la curva de dispersión cromática específica no es conocida. De acuerdo con esta tercera realización, la fibra óptica necesariamente pertenece a uno de los subgrupos de fibras; así, pues, una de las longitudes de onda $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$ está comprendida dentro del sub-intervalo de longitudes de onda asociado al subgrupo de fibras que comprende la fibra óptica. Esta longitud de onda puede hallarse sencillamente midiendo el rendimiento del sistema de transmisión óptica al transmitir una señal óptica en cada una de las cuatro longitudes de onda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ y λ_4 . De esta forma, la longitud de onda de transmisión λ_t se selecciona como sigue:

- $\lambda_t = \lambda_1$ si la fibra óptica pertenece al primer subgrupo;

- $\lambda_t = \lambda_2$ si la fibra óptica pertenece al segundo subgrupo; y así sucesivamente.

Cuando se incrementa N, la anchura w de cada sub-intervalo de longitudes de onda se reduce, por lo que se requieren fuentes de láser con una tolerancia de longitud de onda de transmisión más pequeña.

Por lo tanto, de acuerdo con esta tercera realización, N es tan pequeño como sea posible. De esta forma, N puede hallarse iterativamente, aplicando en primer lugar el método según se ha descrito con referencia a la Figura 6 con $N = 2$. Si no son suficientes dos sub-intervalos de longitudes de onda, se incrementa N, hasta que N adopta un valor tal,

ES 2 323 882 T3

que cada sub-intervalo de longitudes de onda puede ser asociado a un subgrupo de fibras respectivo, de tal manera que la dispersión cromática está comprendida entre D_{min} y D_{max} .

5 Ha de apreciarse que, en lugar de un transmisor sintonizable discretamente que comprende N fuentes de láser, es posible proporcionar un número N de transmisores diferentes, de tal modo que cada transmisor está configurado para transmitir en una longitud de onda λ_1 , λ_2 , λ_3 y λ_4 . La longitud de onda de transmisión puede seleccionarse enchufando o insertando cada uno de los transmisores en de la placa o cuadro de transmisión de un sistema de transmisión, y midiendo los rendimientos del sistema en estos cuatro casos.

10 Como alternativa, puede emplearse un transmisor sintonizable de forma continua que comprende una única fuente de láser sintonizable.

15 El presente solicitante es de la opinión de que, cuando se emplea ya sea un transmisor sintonizable de forma discreta, ya sea un transmisor sintonizable de forma continua, el coste del sistema de transmisión óptica de acuerdo con la presente invención sigue siendo más bajo que el coste de los sistemas de transmisión óptica que implementan la técnica conocida de compensación de la dispersión.

20 La Figura 7 muestra un diagrama de la dispersión cromática frente a la longitud de onda que está configurado para seleccionar una longitud de onda de transmisión de una señal óptica, de acuerdo con una cuarta realización de la presente invención. De acuerdo con esta cuarta realización, se utiliza un sub-intervalo de longitudes de onda para implementar un sistema de transmisión de múltiples canales (por ejemplo, un sistema de transmisión de WDM). En particular, en la realización de la Figura 7, se transmiten dos señales ópticas diferentes en dos longitudes de onda de transmisión distintas.

25 En la Figura 7 se muestran cuatro sub-intervalos de longitudes de onda SR1, SR2, SR3 y SR4; estos sub-intervalos de longitudes de onda se han estimado aplicando el método de la invención, según se ha descrito con referencia a la Figura 6.

30 En esta cuarta realización, se han proporcionado dos transmisores. Un primer transmisor está configurado para transmitir una primera señal óptica en una primera longitud de onda de transmisión λ_{t1} ; dicha primera longitud de onda de transmisión λ_{t1} es una longitud de onda de un primer conjunto discreto de primeras longitudes de onda $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$; cada una de las primeras longitudes de onda λ_1 , λ_2 , λ_3 y λ_4 está comprendida dentro de un sub-intervalo de longitudes de onda respectivo SR1, SR2, SR3 y SR4, tal y como se muestra en la Figura 7. Además, un segundo transmisor está configurado para transmitir una segunda señal óptica en una segunda longitud de onda de transmisión λ_{t2} ; dicha segunda longitud de onda de transmisión λ_{t2} es una longitud de onda de un segundo conjunto discreto de segundas longitudes de onda $\{\lambda_1', \lambda_2', \lambda_3', \lambda_4'\}$; cada una de las segundas longitudes de onda λ_1' , λ_2' , λ_3' y λ_4' está comprendida dentro de un sub-intervalo de longitudes de onda respectivo SR1, SR2, SR3 y SR4. Las segundas longitudes de onda son diferentes de las primeras longitudes de onda λ_1 , λ_2 , λ_3 y λ_4 , como también se muestra en la Figura 7.

35 40 Cada uno de dichos transmisores puede ser implementado, como ya se ha mencionado, bien como un transmisor sintonizable de forma discreta, bien como un conjunto de N transmisores independientes, o bien como un transmisor sintonizable de forma continua.

45 Así, pues, de acuerdo con la fibra óptica que esté realmente comprendida en el enlace del sistema de transmisión óptica, la primera y la segunda longitudes de onda de transmisión, λ_{t1} , λ_{t2} , se escogerán como sigue:

- $\lambda_{t1} = \lambda_1$ y $\lambda_{t2} = \lambda_1'$ si la fibra óptica pertenece al primer subgrupo de fibras;

50 - $\lambda_{t1} = \lambda_2$ y $\lambda_{t2} = \lambda_2'$ si la fibra óptica pertenece al segundo subgrupo de fibras;

y así sucesivamente.

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un método para transmitir una señal óptica en un sistema de transmisión óptica, de tal modo que dicho método comprende:

- proporcionar una cierta longitud de una fibra óptica que tiene una longitud de onda de dispersión cromática nula, de tal manera que dicha fibra óptica pertenece a un grupo de fibras ópticas, y de modo que dicho grupo de fibras ópticas comprende fibras ópticas que tienen una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida dentro de un cierto intervalo de longitudes de onda (λ_{0min} , λ_{0max});

- estimar un intervalo de dispersiones cromáticas toleradas (D_{min} ; D_{max});

- transmitir dicha señal óptica a lo largo de dicha longitud de fibra óptica, en una primera longitud de onda de transmisión (λ_t , λ_{t1} , λ_{t2}),

caracterizado por

- estimar, dentro del intervalo de longitudes de onda, al menos un intervalo incluido o sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}), de tal manera que dicho al menos un sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}) es tal, que una señal óptica se ve afectada por una dispersión cromática que está comprendida dentro de dicho intervalo de dispersiones cromáticas toleradas (D_{min} , D_{max}), cuando se transmite la señal óptica

a) en cualquier longitud de onda de dicho al menos un sub-intervalo, y

b) por cualquier fibra óptica de al menos un subgrupo de fibras ópticas de dicho grupo de fibras ópticas,

- de tal modo que dicha primera longitud de onda de transmisión (λ_t , λ_{t1} , λ_{t2}) está comprendida dentro de dicho al menos un sub-intervalo de longitudes de onda.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la etapa de transmitir dicha señal óptica por dicha longitud de fibra óptica en una primera longitud de onda de transmisión, comprende transmitir dicha señal óptica en una primera longitud de onda de transmisión que se ve afectada por una tolerancia de longitud de onda de transmisión ($\Delta\lambda_t$) que está comprendida dentro de dicho sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}).

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 ó la reivindicación 2, en el cual la etapa de transmitir dicha señal óptica comprende, adicionalmente, la etapa de transmitir al menos una señal óptica adicional en una segunda longitud de onda que es diferente de dicha primera longitud de onda de transmisión, de tal manera que dicha segunda longitud de onda de transmisión está comprendida dentro de dicho sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}).

4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual dicho al menos un subgrupo de fibras ópticas corresponde sustancialmente a dicho grupo de fibras ópticas.

5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual la etapa de estimar al menos un sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}) comprende estimar dos o más sub-intervalos de longitudes de onda (SR_1 , SR_2 , SR_3 , SR_4).

6. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la etapa de estimar dicho intervalo de dispersiones cromáticas toleradas (D_{min} , D_{max}) comprende estimar dicho intervalo de dispersiones cromáticas toleradas (D_{min} , D_{max}) de acuerdo con dicha longitud de fibra óptica y de acuerdo con una cierta velocidad de transmisión de bits de dicho sistema de transmisión de multiplexación por división en longitud de onda.

7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual dicho grupo de fibras comprende fibras de acuerdo con una o más de las ITU-T G.652, G.653 y G.655.

8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual dicho sistema de transmisión óptica es un sistema de transmisión de un único canal.

9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual dicho sistema de transmisión óptica es un sistema de transmisión de múltiples canales.

10. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el cual dicho sistema de transmisión óptica es un sistema de transmisión de un solo tramo.

11. Un sistema de transmisión óptica que comprende:

- una cierta longitud de una fibra óptica que tiene una longitud de onda de dispersión cromática nula, de tal manera que dicha fibra óptica pertenece a un grupo de fibras ópticas, y de modo que dicho grupo de fibras ópticas comprende

ES 2 323 882 T3

fibras ópticas que tienen una longitud de onda de dispersión cromática nula, comprendida dentro de un cierto intervalo de longitudes de onda (λ_{0min} , λ_{0max});

5 - un transmisor que está configurado para transmitir una señal óptica a lo largo de dicha longitud de fibra óptica, en una primera longitud de onda de transmisión (λ_t , λ_{t1} , λ_{t2});

10 **caracterizado** por que dicha primera longitud de onda de transmisión está comprendida dentro de un cierto intervalo incluido o sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}), de tal modo que dicho sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}) está comprendido dentro de dicho intervalo de longitudes de onda, y es tal, que una señal óptica se ve afectada por una dispersión cromática que está comprendida dentro de un intervalo de dispersiones cromáticas toleradas (D_{min} , D_{max}), cuando dicha señal óptica es transmitida

a) en cualquier longitud de onda del sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}), y

15 b) por cualquier fibra óptica de un subgrupo de fibras ópticas de dicho grupo de fibras ópticas.

20 12. El sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en el cual dicho transmisor está configurado para transmitir en una primera longitud de onda de transmisión que se ve afectada por una tolerancia de longitud de onda de transmisión ($\Delta\lambda_t$) que está comprendida dentro de dicho sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}).

25 13. El sistema de acuerdo con la reivindicación 11 ó la reivindicación 12, en el cual dicho transmisor está configurado, adicionalmente, para transmitir en una segunda longitud de onda de transmisión que es distinta de dicha longitud de onda de transmisión, de tal modo que dicha segunda longitud de onda de transmisión está comprendida dentro de dicho sub-intervalo de longitudes de onda (λ_{min} , λ_{max}).

14. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el cual dicho transmisor comprende una fuente de láser de longitud de onda fija.

30 15. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el cual dicho transmisor comprende una fuente de láser sintonizable de forma continua.

16. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el cual dicho transmisor comprende una fuente de láser sintonizable de forma discreta.

35 17. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, en el cual dicho grupo de fibras comprende fibras de acuerdo con una o más de las ITU-T G.652, G.653 y G.655.

40 18. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 17, de tal manera que dicho sistema es un sistema de transmisión óptica de un único canal.

19. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 17, de tal manera que dicho sistema es un sistema de transmisión óptica de múltiples canales.

45 20. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 19, de tal manera que dicho sistema es un sistema de transmisión óptica de un solo tramo.

21. Un programa informático que comprende medios de código de programa informático configurados para llevar a cabo todas las etapas de la reivindicación 1 cuando dicho programa se hace funcionar en una computadora.

50 22. Un medio legible por computadora, que tiene un programa grabado en él, de tal modo que dicho medio legible por computadora comprende medios de código de programa informático configurados para llevar a cabo todas las etapas de la reivindicación 1 cuando dicho programa se hace funcionar en una computadora.

55

60

65

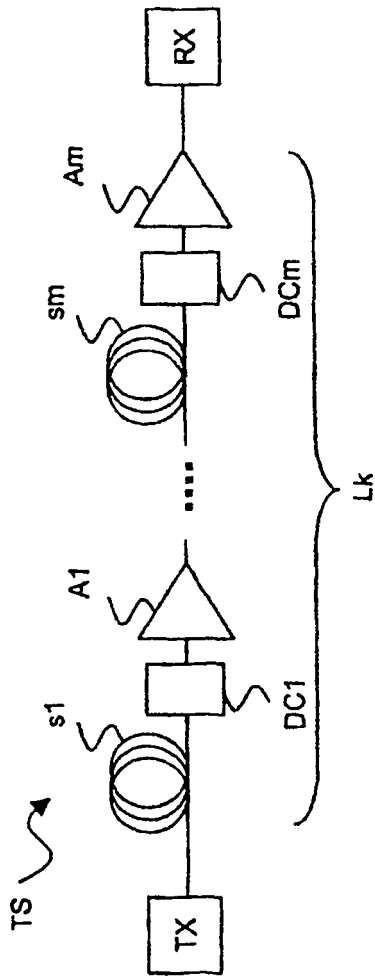


Figure 1a

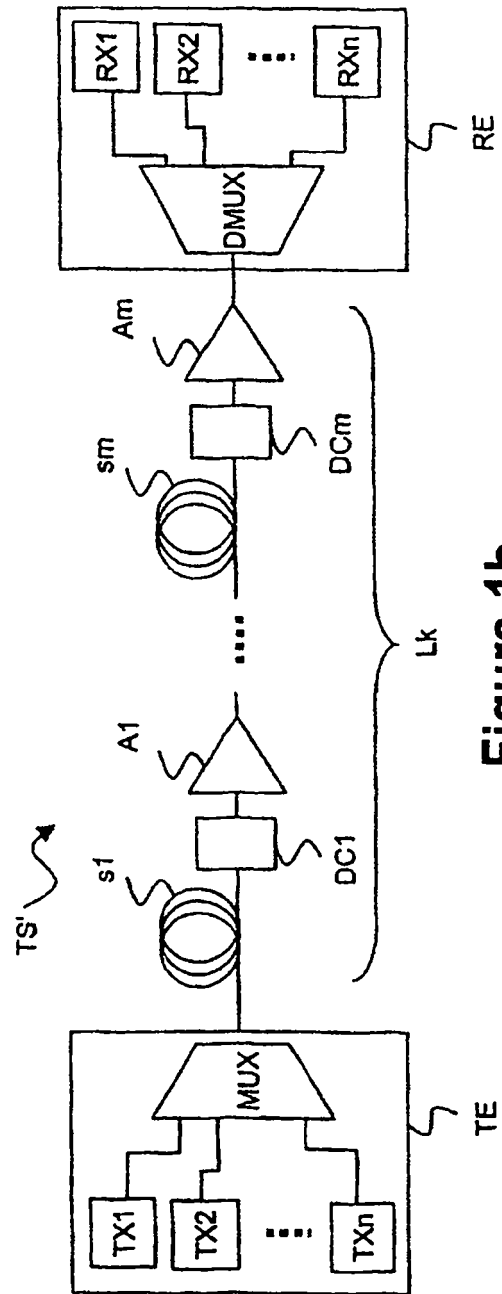


Figure 1b

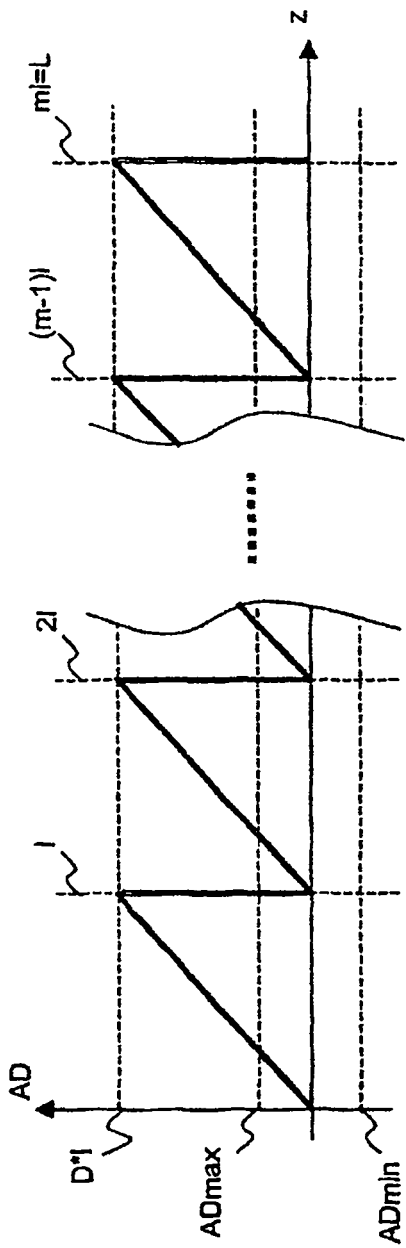


Figura 2a

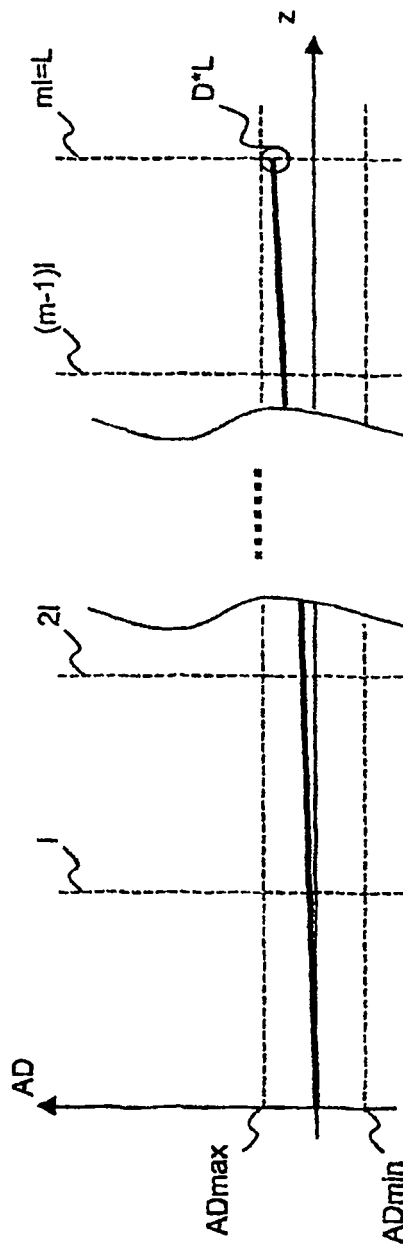


Figura 2b

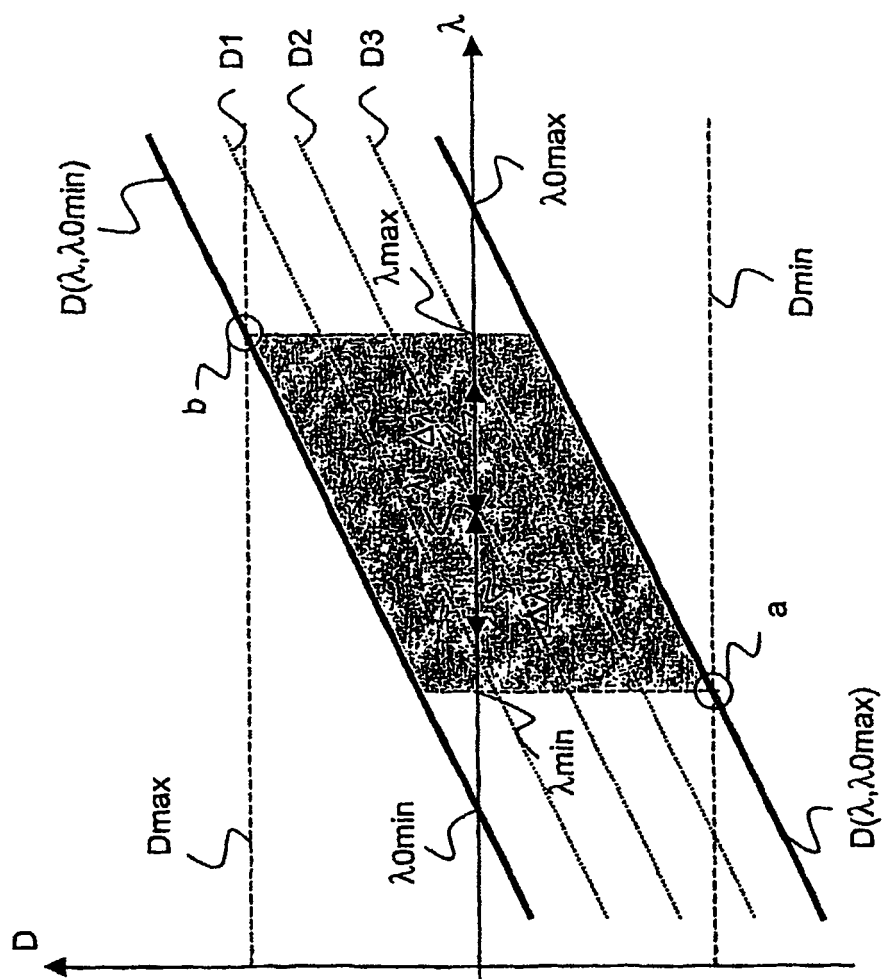


Figura 3

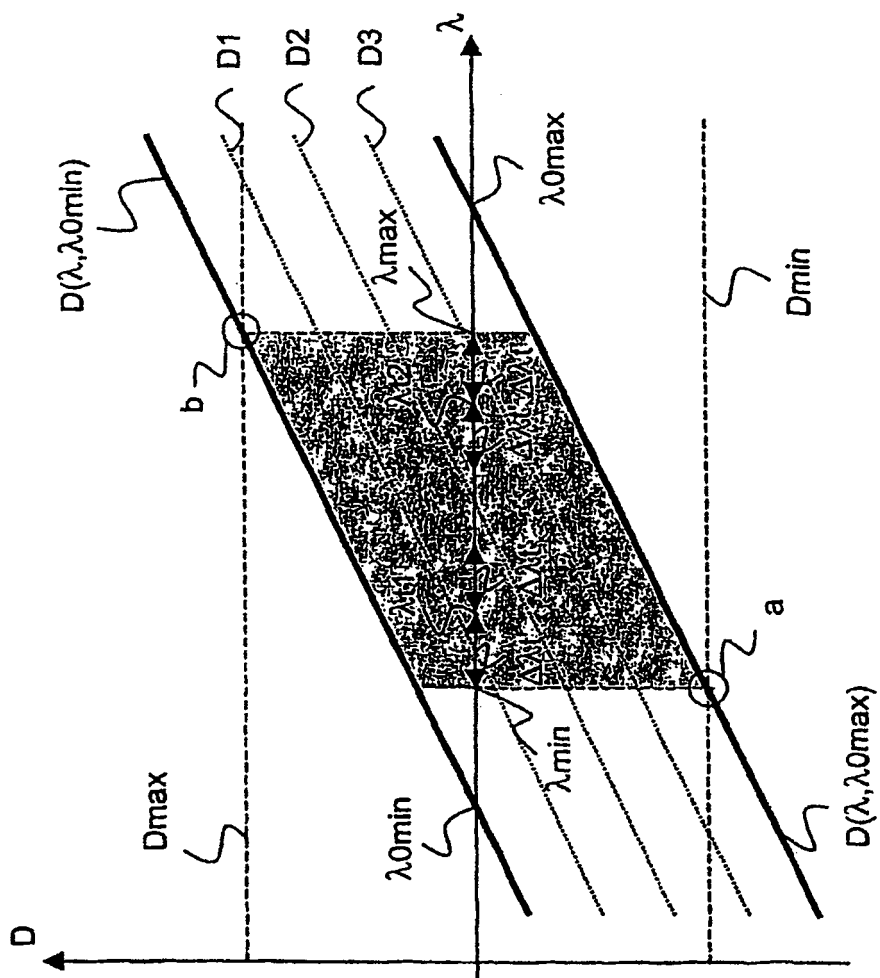


Figura 4

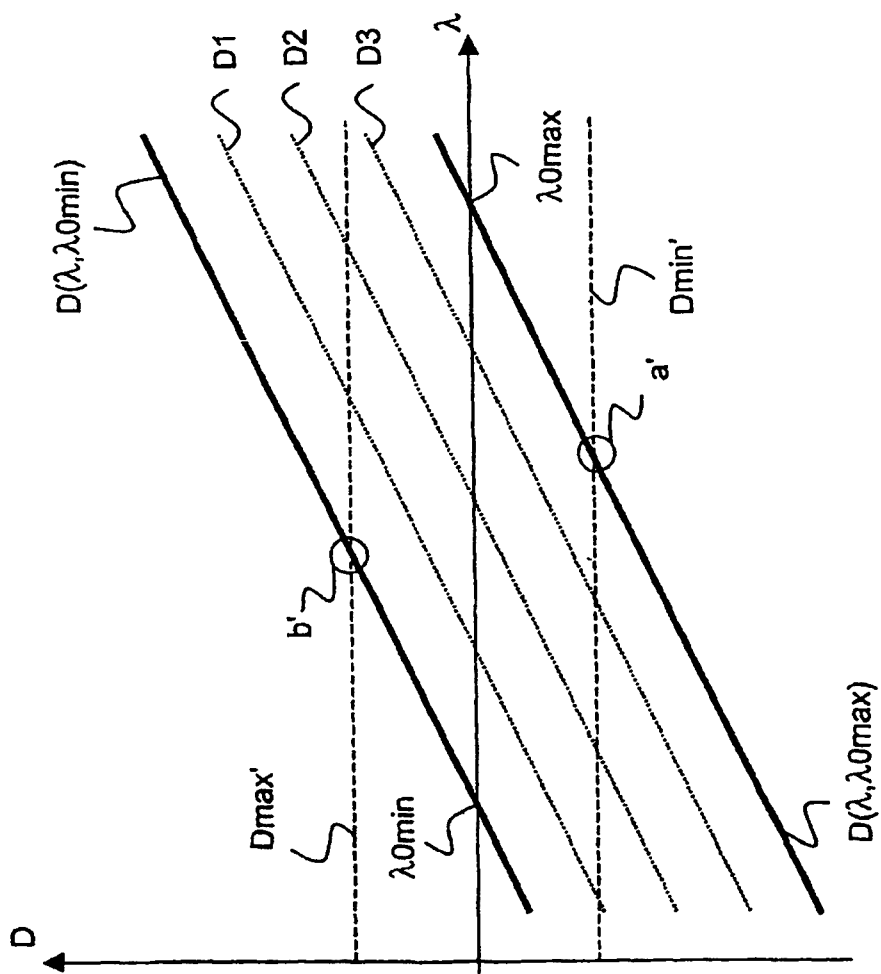


Figure 5

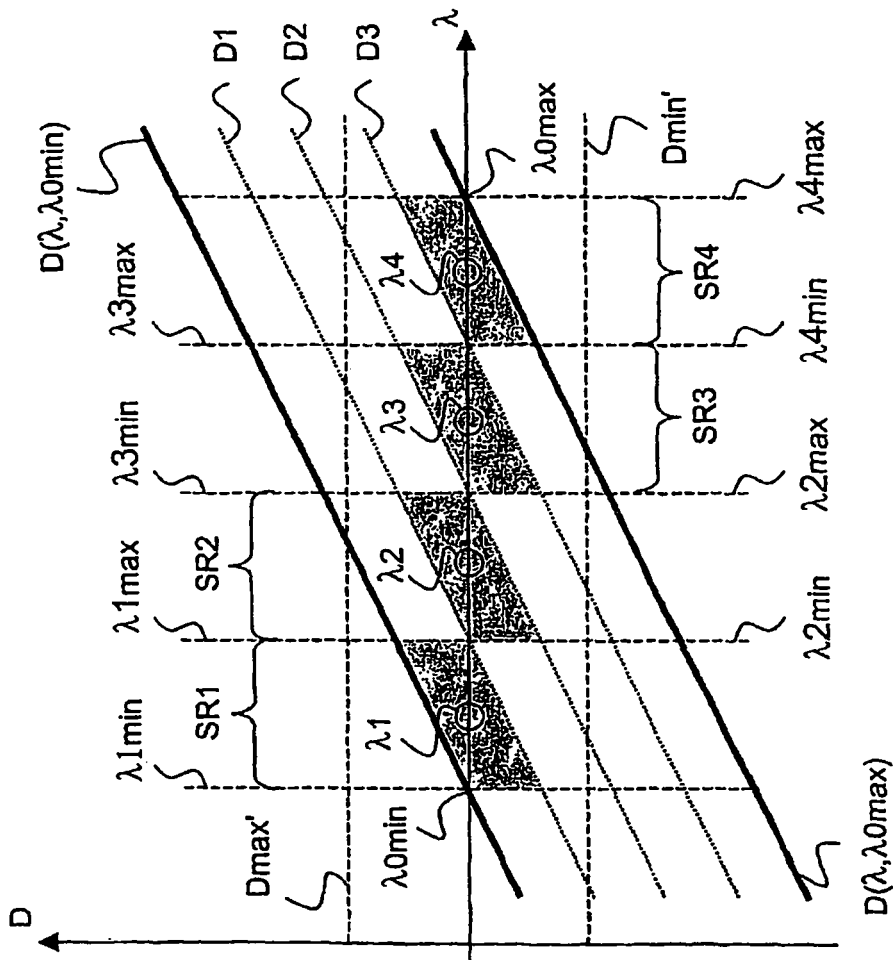


Figure 6

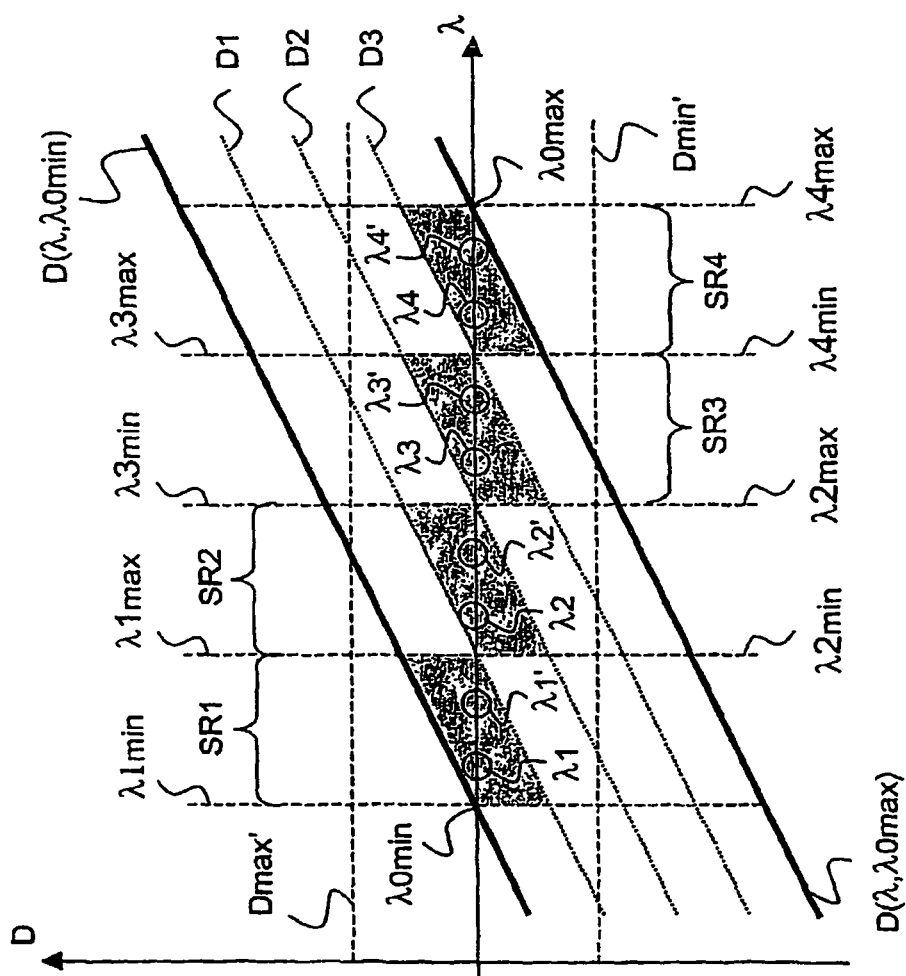


Figura 7