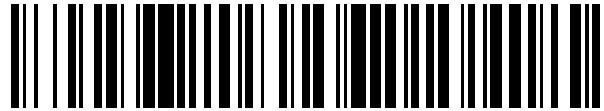


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 529**

51 Int. Cl.:

G02B 6/02 (2006.01)

G02B 6/293 (2006.01)

H04B 10/2525 (2013.01)

G02B 6/036 (2006.01)

G02B 6/028 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2001 E 01402630 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016 EP 1213595**

54 Título: **Compensación de la dispersión cromática en un sistema de transmisión de fibra óptica y fibra de compensación**

30 Prioridad:

11.05.2001 FR 0106246

16.10.2000 FR 0013209

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

08.06.2016

73 Titular/es:

DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)

DE BOELELAAN 7

1083 HJ AMSTERDAM, NL

72 Inventor/es:

SILLARD, PIERRE;

GORLIER, MAXIME;

DE MONTMORILLON, LOUIS-ANNE;

FLEURY, LUDOVIC;

BEAUMONT, FLORENT y

NOUCHI, PASCALE

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 573 529 T3

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

DESCRIPCIÓN

Compensación de la dispersión cromática en un sistema de transmisión de fibra óptica y fibra de compensación.

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de transmisiones por fibra óptica, y más específicamente, la compensación de la dispersión cromática y de la pendiente de dispersión cromática en sistemas de transmisión por fibra óptica.
- 10 **[0002]** Para fibras ópticas el perfil de índice, se califica de manera general en función de la apariencia del gráfico de la función que asocia al radio de la fibra el índice de refracción. De manera convencionalmente en las abscisas se representa la distancia r desde el centro de la fibra, y sobre las ordenadas la diferencia entre el índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento de la fibra. Se habla así de perfil de índice en "escalón", "trapezio" y "triángulo" para los gráficos que presentan formas respectivas de escalón, trapezio o triángulo. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o establecido de la fibra, las limitaciones de fabricación de la fibra pueden conducir a un perfil sensiblemente diferente.
- 15 **[0003]** En las nuevas redes de transmisión, con elevadas velocidades y multiplexados en longitud de onda, es ventajoso administrar la dispersión cromática, en particular para velocidades superiores o iguales a 40 Gbit/s o a 160Gbit/s; el objetivo es obtener, para todos los valores de longitud de onda del múltiplex, una dispersión cromática acumulada sustancialmente nula en el enlace, a fin de limitar ensanchamiento de impulsos. Un valor acumulado de algunas decenas de ps/nm para la dispersión es generalmente aceptable. También es interesante evitar proximidad de longitudes de onda utilizadas en el sistema a valores nulos de la dispersión cromática local, para los cuales los efectos no lineales son más importantes. Finalmente, también es interesante limitar la pendiente de dispersión cromática acumulada en la gama del múltiplex a fin de evitar o limitar las distorsiones entre los canales del múltiplex. Esta pendiente es convencionalmente la derivada de la dispersión cromática con respecto a la longitud de onda.
- 20 **[0004]** Convencionalmente se utiliza como fibra de línea para sistemas de transmisión por fibras ópticas, una fibra salto de índice, también llamada fibra SMF (acrónimo del inglés "Single Mode Fiber [fibra de modo único]"). La solicitante comercializa, así bajo la referencia ASMF 200, una fibra monomodo con salto de índice que tiene una longitud de onda de cancelación de la dispersión cromática λ_0 entre 1300 y 1320 nm, y una dispersión cromática inferior o igual a 3,5 ps/(nm.km) en una gama de 1285 a 1330 nm y del orden de 17 ps/(nm.km) a 1550 nm. La pendiente de dispersión cromática a 1550 nm es aproximadamente 0,06 ps/(nm².km).
- 25 **[0005]** También ha aparecido en el mercado fibras de dispersión desplazada, o DFS (acrónimo del inglés "Dispersion shifted fibers [fibras de dispersión desplazada]"). Estas fibras son tales que en la longitud de onda de transmisión en la que se utilizan, que es generalmente diferente de la longitud de onda de 1,3 μm para que la dispersión de la sílice es sustancialmente nula, la dispersión cromática es apreciablemente nula; es decir, la dispersión cromática de sílice, no nula, se compensa - de ahí el uso del término desplazada - mediante un aumento de la diferencia índice Δn entre el núcleo de la fibra y el revestimiento óptico. Esta diferencia de índice permite desplazar la longitud de onda para la cual, la dispersión cromática es nula, la misma se obtiene mediante la introducción de dopantes en la preforma durante la fabricación del mismo, por ejemplo, mediante un proceso MCVD en sí conocido, y que no se describe aquí con detalle.
- 30 **[0006]** Se describe como NZ-DSF+ (acrónimo del inglés "non-zero dispersion shifted fibers [fibras de dispersión desplazada no nula]"), fibras de dispersión desplazada, que presentan una dispersión cromática no nula y positiva para las longitudes de onda en las que son utilizadas, típicamente alrededor de 1550 nm. Estas fibras tienen para estas longitudes de onda una dispersión cromática baja, típicamente menor de 11 ps/(nm.km) a 1550 nm, y una pendiente de dispersión cromática entre 0,04 y 0,1 ps/(nm².km).
- 35 **[0007]** El documento FR-A 2 790 107, propone una fibra de línea, especialmente adaptada para una transmisión por multiplexado en longitudes de onda densa, con una separación entre los canales de 100 GHz o menor para una velocidad de 10 Gbit/s; esta fibra presenta para una longitud de onda de 1550 nm, un área efectiva superior o igual a 60 μm^2 , una dispersión cromática comprendida entre 6 y 10 ps/(nm.km), y una pendiente de dispersión cromática inferior a 0,07 ps/(nm².km).
- 40 **[0008]** La solicitud de patente francesa n° 0002316 presentada el 24/02/2000 y titulada "Fibre optique monomode en câble pour réseaux de transmission à fibre optique à multiplexage en longueurs d'onde (fibra óptica monomodo en cable para redes de transmisión por fibra óptica con multiplexación en longitudes de onda)", propone una fibra de línea que presenta para 1550 nm una dispersión cromática entre 5 y 11 ps/(nm.km), una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática entre 250 y 370 nm y una relación entre el cuadrado del área efectiva y la pendiente de dispersión cromática, superior a 8.10⁴ $\mu\text{m}^2 \cdot \text{nm}^2 \cdot \text{km} / \text{ps}$. La fibra de línea tiene una gama de uso de 1300 a 1625 nm. En un ejemplo de esta aplicación, la misma se compensa en dispersión, mediante una fibra de compensación de dispersión que presenta una dispersión cromática de -100 ps/(nm.km) y una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática de 260 nm.
- 45 **[0009]** Para compensar la dispersión cromática y la pendiente de dispersión en fibras SMF o NZDSF+, utilizadas como fibras de línea, se conoce utilizar pequeñas longitudes de fibra de compensación de dispersión DCF ("Dispersion Compensating Fiber" en inglés). Un ejemplo de un sistema de transmisión en el que dicha dispersión cromática en una fibra de línea SMF, se compensa mediante la fibra DCF, se da a conocer en Nishimura et al, "Dispersion compensating fibers and their applications, OFC'96 Technical Digest ThA1". Una utilización tal de una fibra de compensación de dispersión también se menciona en L. Grüner-Nielsen y otros, "Large volume Manufacturing of dispersion compensating fibers, OFC'98 Technical Digest TuD5". Se propuso, en estos artículos, como en otros documentos del estado de la técnica, elegir la fibra de compensación de dispersión en función de la
- 50
- 55
- 60
- 65

fibra de línea, de modo que las relaciones de la dispersión cromática con la pendiente de dispersión cromática, sean sustancialmente iguales para la fibra de compensación y para la fibra de línea.

[0010] Las fibras DCF también se describen en diversas patentes. Las mismas presentan en la proximidad de una longitud de onda de 1550 nm, una dispersión cromática negativa, para compensar la dispersión cromática acumulada en la fibra de línea, y pueden presentar, además, una pendiente de la dispersión cromática negativa para compensar la pendiente positiva de la dispersión cromática de la fibra de línea. El documento US-A-5.568.583 o el documento US-A-5361319, proponen una fibra DCF para la compensación de la dispersión cromática de una fibra SMF, con una dispersión del orden de 17 ps/(nm.km) a 1550 nm.

[0011] El documento WO-A-99 13 366, propone una fibra de compensación de dispersión que está destinada a utilizarse en cajetines de compensación, para compensar la dispersión y la pendiente de dispersión cromática de una fibra del tipo comercializado por la firma Lucent, bajo la marca registrada "True Wave"; esta fibra presenta una dispersión cromática de entre 1,5 y 4 ps/(nm.km) y una pendiente de dispersión cromática de 0,07 ps/(nm².km). La fibra de compensación de dispersión propuesta, presenta en un ejemplo de realización una dispersión cromática de -27 ps/(nm.km) y una pendiente de dispersión cromática de -1,25 ps/(nm².km).

[0012] Estas fibras de compensación de dispersión adecuadas para sistemas de transmisión que funcionan en banda C, es decir, entre 1530 y 1565 nm, o alrededor de 1550 nm. Las mismas están poco o nada adaptadas a compensar la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática en sistemas de transmisión que funcionan a la vez en las bandas C y L. En este contexto, se denomina banda L la gama de longitudes de onda que se extiende por encima de la banda C, hasta longitudes de onda de aproximadamente 1610 o 1620 nm. Un sistema de transmisión en las bandas C y L, utiliza por tanto típicamente longitudes de onda de entre 1530 y 1610 nm.

[0013] La solicitud de patente francesa depositada, el 26 de octubre de 2000 por la solicitante, bajo el título de fibra "Fibre optique pour la compensation en ligne de la dispersion chromatique d'une fibre optique à dispersion chromatique positive (fibra óptica para la compensación en línea de la dispersión cromática de una fibra óptica con dispersión cromática positiva)", describe una fibra óptica que se utiliza para compensar la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática en sistemas de transmisión en la banda C, S y/o L, pero para dispersiones cromáticas de entre -12 ps/nm.km y -4 ps/nm.km.

[0014] La invención propone una nueva fibra que se puede utilizar en particular para compensación de la dispersión cromática, en un sistema de transmisión en las bandas C y L. La misma es conveniente tanto para fibras de línea SMF como para fibras de línea NZ-DSF. La misma, propone además un nuevo criterio de optimización de fibras de compensación de dispersión respecto de las fibras de línea, para asegurar una buena compensación de la dispersión y de la pendiente de dispersión, a la vez en las bandas C y L.

[0015] Más específicamente, la invención propone un sistema de transmisión por fibra óptica, que presenta una sección de fibra de línea y la sección de fibra de compensación, compensando la dispersión cromática en la sección de fibra de línea, en el que la dispersión cromática C de la fibra de compensación de dispersión, la derivada C' de la dispersión cromática con respecto a la longitud de onda de esta fibra verifican, para una longitud de onda de la gama de longitud de onda utilizada en el sistema de transmisión:

$$\frac{C_g}{C'_g} \times \frac{1}{1 + C_{cum}/(L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda)} \leq \frac{C}{C'} \leq \frac{C_g}{C'_g} \times \frac{1}{1 - C_{cum}/(L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda)} \quad (1)$$

siendo C_g la dispersión cromática de la fibra de línea, C'_g la derivada, con respecto de la longitud de onda, de la dispersión cromática de la fibra de línea, C_{cum} el límite superior del módulo de la dispersión cromática acumulada admitida para la sección de fibra de línea y Δλ la semi-anchura de la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión,

y en el que, para una longitud de onda sustancialmente mediana de la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión, la pendiente de dispersión cromática C' y la primera derivada de esta C'', con respecto de la longitud de onda, de la fibra de compensación de dispersión, verifican:

$$\left| \frac{C''}{C'} \right| \geq \text{Max} \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \times \left(\frac{C \cdot C'_g}{C' \cdot C_g} \times \left(1 \pm \frac{C_{cum}}{L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda} \right) - 1 \right)^{-1} \right) \quad (2).$$

[0016] Es ventajoso que las restricciones (1) y (2) sean verificadas para una longitud de onda sustancialmente mediana de la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión; en este caso, es preferible que la diferencia entre la longitud de onda sustancialmente mediana y la longitud de onda mediana de la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión, sea inferior en módulo al 10% de la gama de longitudes de onda.

[0017] La fibra de compensación de dispersión puede presentar una o más de las características de propagación siguientes:

- una dispersión cromática inferior a -40 ps/(nm.km), incluso inferior a -45 ps/(nm.km) a 1550 nm;
- pérdidas por curvatura inferiores o iguales a 400 dB/m para un arrollamiento alrededor de un manguito de 10 mm radio, en toda la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión;
- un área efectiva superior o igual a 12 μm² a 1550 nm;
- una dispersión modal de polarización inferior o igual a 0,5 ps/km^{1/2} a 1550 nm;
- una atenuación inferior a 1 dB/km, incluso a 0,8 dB/km a 1550 nm.

[0018] Es aún ventajoso que la relación entre el límite superior del módulo de la dispersión cromática acumulada C_{cum} y la longitud L_g de una sección de fibra de línea sea inferior a 0,5 ps/(nm.km), o a 0,1 ps/(nm.km).

[0019] La fibra de línea puede ser una fibra con salto de índice, o incluso una fibra con dispersión desplazada con dispersión cromática positiva.

[0020] La fibra de compensación de dispersión, presenta preferiblemente un perfil de índice trapezoidal o rectangular con una zanja deprimida y un anillo. Este perfil puede estar caracterizado como se indica a continuación.

5 [0021] La invención propone también una fibra óptica que presenta una dispersión cromática inferior a -40 ps/(nm.km) para 1550 nm, incluso inferior a -45 ps/(nm.km) para 1550 nm, una pendiente C' de la dispersión cromática y una primera derivada C'' de la pendiente de la dispersión cromática respecto de la longitud de onda, que verifican:

$$a \times \frac{1}{1+b} \leq \frac{C}{C'} \leq a \times \frac{1}{1-b}$$

10 y

$$\left| \frac{C'}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(c \times \left(\frac{C}{C'} \frac{1}{a} \times (1 \pm b) - 1 \right)^{-1} \right)$$

para una longitud de onda próxima a 1570 nm, con parámetros a, b, c que verifican:

280 ≤ a ≤ 360 nm

0,2 ≤ b ≤ 0,25 nm y

15 c ≤ 25 nm.

[0022] Esta fibra puede presentar las características de propagación indicadas anteriormente para la fibra de compensación de dispersión. Esta puede presentar un perfil de índice rectangular con zanja enterrada y anillo, o aún trapezoidal con zanja enterrada y anillo.

[0023] Las características del perfil pueden entonces ser una o más de las siguientes características:

20 - la diferencia (Δn₁) entre el índice rectangular o trapezoidal y el índice del revestimiento, está comprendida entre 18.10⁻³ y 30.10⁻³, y el radio (r₁) de la parte de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendida entre 1,2 y 2,1 μm;

- la diferencia (Δn₂) entre el índice de la zanja deprimida y el índice del revestimiento, está comprendida entre -8,5.10⁻³ y -4,5.10⁻³, y el radio exterior (r₂) de esta zanja está comprendido entre 3,4 y 6,1 μm;

25 - la diferencia (Δn₃) entre el índice del anillo y el índice del revestimiento, está comprendida entre 1.10⁻³ y 15.10⁻³ y el radio exterior (r₃) de este anillo está comprendido entre 5,9 y 8 μm;

- el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio (r₁) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendido de entre 48.10⁻³ y 65.10⁻³ μm²;

30 - el triple de la integral del producto del cuadrado del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio (r₁) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, es inferior a 110.10⁻³ μm³;

- el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio (r₁) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento y el radio interior (r₂) del anillo, está comprendido entre -155.10⁻³ y -75.10⁻³ μm²;

35 - el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio interior (r₂) y el radio exterior (r₃) del anillo, está comprendido entre 70.10⁻³ y 210.10⁻³ μm²;

- el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio exterior (r₃) del anillo es superior a 20.10⁻³ μm².

40 [0024] Se propone aún una fibra óptica que presenta una dispersión cromática C inferior a -40ps/(nm.km), o incluso inferior a -45 ps/(nm.km) a 1550 nm, una pendiente C' de la dispersión cromática y una primera derivada C'' de la pendiente de la dispersión cromática respecto de la longitud de onda tal que:

$$a \times \frac{1}{1+b} \leq \frac{C}{C'} \leq a \times \frac{1}{1-b}$$

y

$$\left| \frac{C'}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(c \times \left(\frac{C}{C'} \frac{1}{a} \times (1 \pm b) - 1 \right)^{-1} \right)$$

45 para una longitud de onda próxima a 1570 nm, con parámetros a, b y c que verifican:

120 ≤ a ≤ 200 nm

0,2 ≤ b ≤ 0,5 y

c ≤ 25 nm.

50 [0025] Esta fibra puede presentar las características de propagación indicadas anteriormente para la fibra de compensación de dispersión. La misma puede presentar un perfil de índice rectangular con zanja enterrada y anillo, o aún trapezoidal con zanja enterrada y anillo.

[0026] Las características del perfil pueden entonces ser una o más de las siguientes características:

55 - la diferencia (Δn₁) entre el índice rectangular o trapezoidal y el índice del revestimiento, está comprendida entre 18.10⁻³ y 30.10⁻³, y el radio (r₁) de la parte de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendido entre 1,2 y 1,9 μm;

- la diferencia (Δn₂) entre el índice de la zanja deprimida y el índice del revestimiento, está comprendida entre -10.10⁻³ y -5,8.10⁻³, y el radio exterior (r₂) de esta zanja está comprendido entre 3,4 y 6,1 μm;

- la diferencia (Δn_3) entre el índice del anillo y el índice del revestimiento, está comprendida entre 1,10 a 3 y 17,5.10⁻³ y el radio exterior (r_3) de este anillo está comprendido entre 6,25 y 8,3 μm ;
- el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendido entre 50.10⁻³ y 60.10⁻³ μm^2 ;
- 5 - el triple de la integral del producto del cuadrado del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, es inferior a 110.10⁻³ μm^3 ;
- el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento y el radio interior (r_2) del anillo, está comprendido entre -230.10⁻³ y -145.10⁻³ μm^2 ;
- 10 - el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio interior (r_2) y el radio exterior (r_3) del anillo está comprendido entre 180.10⁻³ y 260.10⁻³ μm^2 ;
- el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio exterior (r_3) del anillo, está comprendido entre 20.10⁻³ y 145.10⁻³ μm^2 .

[0027] Otras características y ventajas de la invención resultarán de la lectura de la siguiente descripción de modos realización de la invención, dados a título de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, que muestran:

- la figura 1, es una representación esquemática de un sistema de transmisión de acuerdo con la invención;
- la figura 2, es una representación esquemática del perfil de índice establecido de una fibra de acuerdo con un primer modo de realización de la invención.
- la figura 3, una representación esquemática del perfil de índice establecido de una fibra de un segundo modo de realización de la invención

[0028] La invención se basa en la constatación de que el criterio utilizado en estado de la técnica para la selección de fibras de compensación de la dispersión, no está necesariamente adaptado a los sistemas de transmisión que funcionan en gamas de longitudes de onda que se extienden más allá de la banda C. En particular, el criterio de igualdad de las relaciones entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática para la fibra de línea y para fibra de compensación de dispersión, no es óptimo para sistemas de transmisión que funcionan tanto en banda C como en la banda L.

[0029] Una posible explicación de este fenómeno reside en la dependencia entre la dispersión cromática y la longitud de onda; resulta que la dispersión cromática es una función substancialmente lineal de la longitud de onda para una fibra de línea, y esto incluso fuera de la banda C. Por el contrario, la dispersión cromática no es necesariamente una función lineal de la longitud de onda para las fibras de compensación de dispersión, fuera de la banda C.

[0030] Se proponen en un modo de realización de la invención nuevos criterios que permitan efectivamente caracterizar la compensación de la dispersión en un sistema de transmisión; estos criterios se pueden utilizar independientemente o de manera combinada, para verificar la eficacia de la compensación de dispersión en un sistema de transmisión; también pueden ser utilizados, como se explica a continuación, para seleccionar fibras destinadas a ser utilizadas como fibras de compensación de sistemas de transmisión. Los criterios tienen en cuenta no sólo la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática de la fibra de línea, sino también la primera derivada de la pendiente de la dispersión cromática así como la longitud de secciones de fibra de línea.

[0031] La figura 1, muestra una representación esquemática de un sistema de transmisión con multiplexación en longitudes de onda, de acuerdo con una realización de la invención. En la figura 1, se representa el transmisor TX 2 y el receptor RX 4 del sistema de transmisión, entre los que se extiende la fibra de línea. La misma se compone de tramos 6l a 6n, separados por repetidores 8l a 8n-l; cada repetidor 8i presenta un amplificador 10i, cuya estructura no tiene incidencia alguna sobre el funcionamiento de la invención, y por lo tanto no se describe. En la salida del amplificador, está prevista una sección 12i de fibra de compensación de dispersión. La colocación de la fibra de compensación de dispersión aguas abajo del amplificador, permite limitar los efectos de una alta atenuación en esta fibra. En lo siguiente se designa con L_g , la longitud de la fibra de línea entre dos secciones de fibra de compensación de dispersión; en el ejemplo de la figura, esta longitud corresponde a la longitud que separa dos repetidores.

[0032] En el ejemplo de la figura 1, se proporciona una sección de fibra de compensación de dispersión en cada repetidor; también es posible no prever la fibra de compensación de dispersión en cada repetidor, sino únicamente en determinados repetidores; por ejemplo, se podría proporcionar fibra de compensación de dispersión a un repetidor de cada N, siendo N un número entero mayor o igual a dos. En tal caso sería llamada "longitud de la sección de fibra de línea", la longitud de la fibra de línea entre dos repetidores en los que se encuentra la fibra de compensación de la dispersión. Otras modificaciones del sistema de transmisión de la figura 1 son posibles: por ejemplo, se pueden proporcionar filtros, un amplificador aguas abajo de la fibra de compensación de dispersión, etc.

[0033] Los criterios propuestos definen límites para la fibra de compensación de dispersión, para la relación C/C' entre la dispersión cromática y a la pendiente de dispersión cromática, por una parte, y por otra parte para la relación C'/C'' entre la pendiente de dispersión cromática y la primera derivada de la pendiente de la dispersión cromática. Se impone, por tanto:

$$\frac{C_g}{C'_g} \times \frac{1}{1 + C_{cum}/(L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda)} \leq \frac{C}{C'} \leq \frac{C_g}{C'_g} \times \frac{1}{1 - C_{cum}/(L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda)} \quad (1)$$

[0034] En esta fórmula C y C', son la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática de la fibra de compensación de dispersión, expresadas, respectivamente, en ps/(nm.km) y en ps/(nm².km). C_g y C'_g , representan

la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática de la fibra de línea, con las mismas unidades. C_{cum} , es el límite superior del módulo de la dispersión cromática acumulada en el sistema de transmisión en ps/nm; la dispersión cromática acumulada es la integral de la dispersión cromática en toda la longitud del sistema de transmisión, integrando respecto a la longitud; macroscópicamente, para una sección de fibra de línea y una sección de fibra de compensación de la dispersión, la dispersión cromática acumulada, es igual a la suma del producto de la dispersión cromática de la fibra de línea por la longitud de la sección de fibra de línea y del producto de la dispersión cromática de la fibra de compensación por la longitud de la sección de la fibra de compensación. Esta dispersión cromática acumulada, se calcula para una longitud de onda dada; la cantidad C_{cum} es el máximo del módulo de la dispersión cromática acumulada para las longitudes de onda utilizadas en el sistema de transmisión. L_g es la longitud de un tramo de fibra de línea, y siendo $\Delta\lambda$ la mitad de la anchura de la banda del sistema de transmisión.

[0035] La fórmula (1) vuelve a limitar la relación C/C' , y no sólo la dispersión cromática como en el estado de la técnica. Además, la fórmula (1), hace intervenir la dispersión cromática acumulada, así como el ancho de banda del sistema. La fórmula (1), es una condición necesaria pero no suficiente para que la dispersión cromática acumulada del sistema, permanezca por debajo del límite superior del módulo de la dispersión cromática acumulada C_{cum} admitida, en toda la gama de longitud de onda utilizada en el sistema .

[0036] La fórmula (1) se satisface preferiblemente para una longitud de onda próxima a la longitud de onda mediana utilizada en el sistema. Sigue siendo posible que la fórmula se verifique para alguna otra longitud de onda.

[0037] Además de la restricción (1), se requiere una restricción respecto des módulo de la relación entre la pendiente de dispersión cromática y la primera derivada de la pendiente de dispersión, para obtener una condición necesaria y suficiente para que el módulo de la dispersión cromática acumulada en el sistema, permanezca inferior al límite superior C_{cum} permitido, de dispersión cromática, en toda la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema. Esta segunda limitación se escribe como:

$$\left| \frac{C'}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \times \left(\frac{C \cdot C'_g}{C' \cdot C_g} \times \left(1 \pm \frac{C_{cum}}{L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda} \right) - 1 \right)^{-1} \right) \quad (2)$$

[0038] En esta fórmula, las notaciones son las mismas que anteriormente. La función $\text{Max}(x, y)$ es la función que para dos números reales x e y , asocia el mayor de dichos dos números reales. En la fórmula (2), la función Max se aplica a los dos valores de la relación calculados para los dos posibles valores del signo " \pm ".

[0039] Esta fórmula (2), proporciona así un límite inferior para el módulo de la relación entre la pendiente de dispersión cromática y la primera derivada de la pendiente de la dispersión cromática. Esta fórmula se verifica en el centro de la gama espectral considerada, o en la proximidad del centro de esta gama espectral. Para una transmisión en bandas C y L, las fórmulas se calculan en la proximidad de 1570 nm; este valor se elige porque la dispersión cromática acumulada del conjunto de fibra de línea de compensación de la dispersión en estas bandas es esencialmente simétrica alrededor de 1570 nm. Es por lo tanto para esta longitud de onda que la dispersión se aproxima más a una parábola, y que la fórmula (2) da la mejor aproximación. Si se aleja de este valor, el valor del límite inferior varía. En la práctica, se demuestra que una variación ± 10 nm desde el centro de la gama espectral, para obtener los mismos resultados en términos de compensación de la dispersión, conduce a multiplicar por dos el límite inferior, es decir multiplicar por dos el término de la derecha de la desigualdad (2). En la práctica es suficiente verificar la fórmula (2) para una longitud de onda cuya diferencia con la longitud de onda mediana del sistema de transmisión sea inferior al 10% de la anchura de la gama.

[0040] Nótese que las fórmulas (1) y (2) se calculan localmente, en función de la longitud de la fibra de línea a compensar. Por tanto, los criterios se pueden calcular de forma local, es decir, en la proximidad de un repetidor o una sección de fibra de línea. En este caso, el límite superior C_{cum} , es una restricción respecto del módulo de la dispersión cromática acumulada en la sección precedente de fibra de línea. Sin embargo, las restricciones también pueden ser calculadas globalmente, y en este caso, el límite superior C_{cum} es una restricción respecto del módulo de la dispersión cromática acumulada en conjunto del sistema de transmisión; esta restricción se verifica en todas las secciones de fibra de línea. El cálculo local y el cálculo global tienen, por supuesto, el mismo efecto si el sistema de transmisión tiene una estructura periódica. Nótese además, que el valor de C_{cum} puede variar en función de la longitud de una sección de fibra de línea; así, el ejemplo, dado más adelante, concierne a un valor C_{cum} de 50 ps/nm, para una longitud de sección de fibra de línea de 100 km. También se podría imponer un valor C_{cum} de 100 ps/nm para secciones de fibra de línea de 200 km; de media, la dispersión cromática acumulada en el sistema de transmisión, permanecerá igual; sólo variará entonces el valor absoluto alcanzado en una sección de fibra de línea. De manera más general, un valor de la relación C_{cum}/L_g menor o igual a 0,5 ps/(nm.km) es conveniente; un valor de 0,1 ps/(nm.km) es aún más ventajoso, para sistemas de transmisión con multiplexación en longitud de onda a muy alta velocidad.

[0041] En comparación con la técnica anterior, la fórmula (1), da una gama admisible de error para la igualdad entre las relaciones C/C' y C_g/C'_g . La fórmula (2), que se añade a la fórmula (1), impone una restricción en el valor absoluto de la relación C'/C'' . Estas fórmulas permiten tener en cuenta la anchura espectral de interés para el sistema de transmisión.

[0042] Estas dos fórmulas aseguran que la fibra de compensación de dispersión, compensa de manera eficaz tanto la dispersión cromática como la pendiente de dispersión cromática en toda la anchura espectral utilizada en el sistema de transmisión; más específicamente, el sistema presenta entonces para toda la anchura $2 \cdot \Delta\lambda$, una dispersión cromática acumulada en valor absoluto inferior a C_{cum} .

[0043] Además de la primera fórmula o ambas fórmulas, es ventajoso que la fibra de compensación de la dispersión presente una o más de las características siguientes:

- pérdidas por curvatura inferiores a 400 dB/m, y preferiblemente inferiores a 100 dB/m, para una longitud de onda entre 1530 nm a 1620 nm, para un arrollamiento de 100 vueltas alrededor de un manguito de 10 mm de radio;
- pérdidas por curvatura inferiores a 0,05 dB y, preferiblemente, inferiores a 10^{-3} dB, para una longitud de onda entre 1530 y 1620 nm, para un arrollamiento de 100 vueltas sobre un manguito de 30 mm de radio;
- una relación entre la dispersión cromática y la atenuación inferior o igual a $-100 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{dB})$ para una longitud onda entre 1530 y 1620 nm;
- un área efectiva superior o igual a $12 \mu\text{m}^2$, preferiblemente superior o igual a $15 \mu\text{m}^2$ o $20 \mu\text{m}^2$, para una longitud de onda de 1550 nm;
- una dispersión cromática inferior o igual a $-40 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$, preferiblemente inferior o igual a $-50 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$, para una longitud de onda de 1550 nm;
- una sensibilidad a microcurvatura inferior o igual a 1, y preferiblemente inferior o igual a 0,5 para longitud de onda de 1550 nm;
- una diferencia entre el índice en cada punto de la fibra y el índice del revestimiento inferior o igual a $30 \cdot 10^{-3}$;
- una dispersión modal de polarización inferior o igual a $0,5 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ para una longitud de onda de 1550 nm;
- una atenuación inferior a 1 dB/km, preferiblemente 0,8 dB/km para una longitud de onda de 1550 nm;

[0044] El valor de la dispersión cromática, permite limitar la longitud de fibra de compensación de dispersión, y por lo tanto la atenuación en esta fibra; el límite sobre las pérdidas por curvatura especialmente, permite un arrollamiento de la fibra de compensación de dispersión en los repetidores. Estas restricciones se respetan preferiblemente en toda la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión. La restricción respecto del área efectiva, permite limitar los efectos no lineales en la fibra de compensación de dispersión; esta restricción es ventajosamente verificada en la proximidad de 1550 nm. La fibra presenta, además, ventajosamente una dispersión modal de polarización inferior o igual a $0,5 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$; este valor de la dispersión modal de polarización garantiza una buena transmisión para las altas velocidades; la misma se mide en las proximidades de una longitud de onda de 1550 nm. La fibra también puede presentar una atenuación inferior a 1 dB/km, incluso a 0,8 dB/km; estos valores de atenuación limitan las pérdidas en la fibra de compensación; las mismas se miden en la proximidad de una longitud de onda de 1550 nm.

[0045] Ahora se dan ejemplos de sistemas de transmisión que utilizan, respectivamente, como fibra de línea, la fibra con salto de índice y la fibra con dispersión desplazada positiva.

Fibra con salto de índice.

[0046] En el ejemplo de la fibra con salto de índice, se considera una fibra se considera que presenta las características siguientes:

- dispersión cromática a 1570 nm: $18,5 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$;
- pendiente de dispersión cromática a 1570 nm: $0,058 \text{ ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$;
- longitud de onda de corte de cable inferior a 1300 nm;
- área efectiva a 1.570 nm: $81 \mu\text{m}^2$;

[0047] Una fibra tal puede presentar una diferencia entre el índice del núcleo y el índice del revestimiento del orden de $5 \cdot 10^{-3}$, y un radio de núcleo del orden de $4,5 \mu\text{m}$. Para una fibra de línea tal, y un sistema de transmisión en bandas C y L entre 1530 y 1610 nm, las fórmulas (1) y (2) dadas anteriormente proporcionan, para una longitud de sección de fibra de línea de 100 km y para una dispersión cromática acumulada inferior a $50 \text{ ps}/\text{nm}$:

$$260 \text{ nm} \leq C/C' \leq 400 \text{ nm} \quad (3)$$

y

$$\left| \frac{C'}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(20 \times \left(\frac{C}{C'} \frac{1}{320} \times (1 \pm 0.22) - 1 \right)^{-1} \right)$$

(4)

[0048] Estas fórmulas se pueden generalizar a otros tipos de fibra con salto de índice; que se escriben entonces:

$$a \times \frac{1}{1+b} \leq \frac{C}{C'} \leq a \times \frac{1}{1-b} \quad (5)$$

y

$$\left| \frac{C'}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(c \times \left(\frac{C}{C'} \frac{1}{a} \times (1 \pm b) - 1 \right)^{-1} \right) \quad (6).$$

En este caso, a, b y c son parámetros representativos de la fibra de línea y del sistema de transmisión, que verifican:

- $280 \leq a \leq 360 \text{ nm}$
- $0,2 \leq b \leq 0,25$
- $c \leq 25 \text{ nm}$,

siendo b adimensional, pero a y c tienen la dimensión de una longitud de onda. El parámetro a, es representativo de la relación C/C' de la fibra de línea a compensar. El parámetro b, es una corrección resultante de la aplicación de fórmulas anteriores. El parámetro c, corresponde a un cuarto de la anchura espectral de la banda; la elección de un valor de 25 nm, está adaptada a sistemas que presentan una anchura espectral de menos de 100 nm, por ejemplo

sistemas de transmisión de bandas C y L expandidas. La relación (5) se verifica para una longitud de onda utilizada en el sistema de transmisión, típicamente para una longitud de onda comprendida entre 1530 y 1610 nm. La relación (6), se verifica para una longitud de onda próxima a la longitud de onda mediana utilizada en el sistema de transmisión; siendo conveniente un valor de longitud de onda próxima a 1570 nm, o entre 1.565 y 1.575 nm.

5 **[0049]** Estos criterios pueden ser satisfechos, para las fibras que presentan los perfiles de las figuras 2 o 3, con los valores dados en las tablas a continuación. El perfil de la figura 2, es un perfil de índice establecido de tipo rectangular, con una zanja enterrada y un anillo. El mismo presenta, partiendo del centro de la fibra:

- una porción central con un índice apreciablemente constante superior o igual al índice del revestimiento;
- una porción anular de índice inferior o igual al índice del revestimiento;

10 el conjunto que constituye un perfil de índice llamado "rectangular con una zanja enterrada o deprimida".

[0050] Alrededor de la zanja enterrada, la fibra de la figura 2, presenta un anillo, es decir una porción de índice superior al índice del revestimiento, de ahí el calificativo de perfil rectangular con una zanja enterrada y un anillo.

15 **[0051]** En lo siguiente Δn_1 indica la diferencia entre el índice de la parte central y el índice del revestimiento de la fibra, Δn_2 la diferencia entre el índice de la zanja enterrada y el índice del revestimiento de la fibra y Δn_3 la diferencia entre el índice del anillo y el índice del revestimiento de la fibra. Como se explicó anteriormente, Δn_1 y Δn_3 tienen un valor positivo, mientras que Δn_2 tiene un valor negativo.

20 **[0052]** El perfil de la figura 3 es un perfil de índice tipo trapezoidal con una zanja enterrada y un anillo. La única diferencia entre este perfil y la que se muestra en la figura 2, reside en el hecho de que la parte central tiene una forma de trapecio y no de rectángulo, con un radio mínimo de r_{1a} , un radio máximo r_{1b} y un radio r_1 correspondiente al radio de la porción central en el punto donde se cruza el eje de abscisas. También puede llamar "base menor del trapecio" la parte central con radio r_{1a} y de índice constante superior al índice del revestimiento. La "base mayor del trapecio" corresponde al radio r_{1b} radio de la figura, y se extiende hasta el radio interior de la zanja enterrada. En el caso de este perfil trapezoidal, se indica como r_1 el radio de la parte central de la fibra que tiene un índice superior al índice de la fibra.

25 **[0053]** Ejemplos de fibras de compensación de dispersión se muestran en la tabla siguiente. Las fibras S1 a S4 tienen un perfil del tipo de la figura 2, mientras que las fibras S5 a S8 tienen un perfil del tipo de la figura 3.

Tabla 1

	r_{1a} (μm)	r_1 (μm)	r_{1b} (μm)	r_2 (μm)	r_3 (μm)	$10^3\Delta n_1$	$10^3\Delta n_2$	$10^3\Delta n_3$
Fibra S1	1,37	1,37	1,37	4,94	6,02	25,6	-5,8	12,0
Fibra S2	1,47	1,47	1,47	4,36	7,57	23,1	-5,9	2,9
Fibra S3	1,53	1,53	1,53	4,79	7,84	22,5	-5,0	4,1
Fibra S4	1,64	1,64	1,64	4,82	6,70	20,4	-6,5	7,3
Fibra S5	1,20	1,65	1,78	4,94	7,12	23,6	-6,1	6,8
Fibra S6	1,20	1,78	1,93	4,49	7,25	22,5	-6,0	4,8
Fibra S7	1,14	1,74	1,9	4,45	7,45	23,9	-6,2	5,1
Fibra S8	1,48	1,90	2,01	5,00	7,82	18,7	-4,9	5,2

30 **[0054]** Las fibras de la tabla 1, satisfacen los criterios (1) y (2), apuntados anteriormente, para la fibra SMF considerada, y para los valores C_{cum} , L_g y $\Delta\lambda$, mencionados anteriormente. Las mismas presentan las características de propagación dadas en la siguiente tabla 2 para una longitud de onda de 1570 nm.

Tabla 2

	λ_{cth} nm	$2W_{02}$ μm @1570	S_{eff} μm ²	C ps/nm.km @1570	C/C' nm @1570	Fs nm @1570	C'/C' nm @1570	PC ₁₆₂₀ dB/m	S_{mc} @1570
Fibra S1	1680	4,5	16	-120	365	229	>650	<100	<0,5
Fibra S2	1660	4,7	17	-100	375	320	>350	<100	<0,5
Fibra S3	1780	4,7	17	-75	355	178	>200	<100	<0,5
Fibra S4	1710	4,9	19	-90	330	114	>850	<100	<0,5
Fibra S5	1795	4,6	17	-110	280	260	>450	<100	<0,5
Fibra S6	1740	4,8	18	-85	380	400	>450	<100	<0,5
Fibra S7	1860	4,6	17	-105	330	114	>800	<100	<0,5
Fibra S8	1910	5,3	22	-75	390	800	>1000	<100	<0,5

35 **[0055]** En esta tabla, λ_{cth} es la longitud de onda de corte teórica de la fibra, expresada en nanómetros; en la práctica, la longitud de onda de corte medida en el cable es inferior a varios cientos de nm; se entenderá que la fibra es efectivamente monomodo en la gama de longitudes de onda de señales útiles, especialmente en bandas C y L. $2W_{02}$

es el diámetro modal en micrómetros; S_{eff} es el área efectiva en micrómetros cuadrados. C es la dispersión cromática en ps/(nm.km). C' es la pendiente de dispersión cromática, es decir, la derivada de la dispersión cromática respecto de la longitud de onda, expresada en ps/(nm².km); La relación C/C' entre la dispersión cromática y la pendiente de la dispersión cromática tiene por tanto la dimensión de una longitud de onda y se expresa en nanómetros. F_S es el límite inferior del módulo de la relación C'/C'' en la anterior fórmula (4). C'' es la derivada primera de la pendiente de la dispersión cromática respecto de la longitud de onda; el módulo de la relación C'/C'' , de la tabla tiene aún la dimensión de una longitud, y se expresa en nanómetros. De nuevo, es ventajoso que la fibra presente pérdidas por curvatura aceptables para 1620 nm, porque esto limita las pérdidas en toda la gama de utilización que van desde 1530 nm a 1620 nm. PC_{1620} es una medida de pérdidas lineales por curvatura en la fibra; estas pérdidas se miden a una longitud de onda de 1620 nm, mediante el arrolamiento de la fibra alrededor de una bobina de diámetro de 10 mm. Finalmente, S_{mc} es un coeficiente sin dimensiones, representativo de la sensibilidad de la fibra a micro-curvaturas; este coeficiente se encuentra en la tabla medido respecto de una fibra del estado de la técnica comercializado por la solicitante bajo la denominación ASMF 200. Este coeficiente puede medirse por el método de aplastamiento entre dos rejillas conocido por se.

[0056] La tabla muestra que las fibras de la tabla 1, presentan características de propagación que permiten su utilización como fibra de compensación de dispersión o de un repetidor en un amplificador de un sistema de transmisión por fibra óptica. La fibra es adaptada por los valores de C/C' y del módulo de la relación C'/C'' para compensar la dispersión cromática de una fibra SMF.

[0057] En todos los ejemplos de la tabla 1, variaciones del 5% del índice Δn_1 de la porción central, o del 10% de los índices Δn_2 y Δn_3 de la zanja enterrada y del anillo, permiten obtener resultados similares. De igual manera los radios pueden variar el 10% para r_1 y r_2 y el 5% para r_3 , respecto de los valores dados en los ejemplos de la tabla de la figura 1, para obtener resultados análogos.

[0058] Los valores de la tabla 2 se dan para una longitud de onda de 1570 nm; a longitudes de onda de 1550 nm y 1590 nm, las fibras presentan valores de los diversos parámetros proporcionados en la tabla 3, siguiente.

Tabla 3

	$S_{eff} \mu m^2$ @1550	C ps/nm.km @1550	C/C' nm @1550	$S_{eff} \mu m^2$ @1590	C ps/nm.km @1590	C/C' nm @1590
Fibra S1	15	-115	350	17	-130	400
Fibra S2	16	-90	355	18	-105	380
Fibra S3	16	-75	370	18	-85	365
Fibra S4	18	-85	310	21	-100	385
Fibra S5	16	-105	275	19	-120	300
Fibra S6	17	-85	370	19	-95	415
Fibra S7	15	-95	335	17	-110	380
Fibra S8	21	-70	365	23	-80	435

[0059] Desde el punto de vista del perfil, las dimensiones de la fibra de compensación de dispersión pueden ser elegidas de manera ventajosa, aplicando una o más de las desigualdades dadas a continuación; por una parte, en lo relativo a la parte central del rectángulo o del anillo:

- $18 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 30 \cdot 10^{-3}$, y

- $1,2 \leq r_1 \leq 2,1 \mu m$,

[0060] Para la zanja enterrada, se pueden elegir los valores de diferencia de índice Δn_2 y de radio exterior r_2 , de manera que se verifique:

- $8,5 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq 4,5 \cdot 10^{-3}$,

- $3,4 \leq r_2 \leq 6,1 \mu m$,

[0061] Para el anillo, pueden elegirse los valores de diferencia de índice de Δn_3 y de radio exterior r_3 de manera que se verifique:

- $1 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 15 \cdot 10^{-3}$,

- $5,9 \leq r_3 \leq 8 \mu m$,

[0062] Otras caracterizaciones de la fibra son posibles. Así, se puede utilizar el parámetro S_1 definido por:

$$S_1 = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$$

[0063] Este parámetro es homogéneo con el producto de una superficie por un índice. Este parámetro se aplica simplemente tanto al perfil trapezoidal como al perfil rectangular, y es representativo del aumento de índice en la proximidad del núcleo de la fibra. El mismo está preferiblemente comprendido entre $48 \cdot 10^{-3}$ y $65 \cdot 10^{-3} \mu m^2$.

[0064] El parámetro

$$S_{11} = 3 \cdot \int_0^{r1} \Delta n(r) \cdot r^2 \cdot dr$$

es en sí homogéneo con el producto de un índice por el cuadrado de una superficie. Físicamente, este parámetro es representativo de la correspondencia entre un perfil rectangular y un perfil trapezoidal, en la teoría de fibras equivalentes. Este parámetro es preferiblemente inferior a $110 \cdot 10^{-3} \mu m^3$.

5 **[0065]** Se puede aun utilizar el parámetro S_2 , definido por:

$$S_2 = 2 \cdot \int_{r1}^{r2} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$$

Este parámetro es homogéneo al producto de una superficie por un índice. Este parámetro es representativo de la dismunción de índice en la zanja enterrada. El mismo está, preferiblemente comprendido entre $-155 \cdot 10^{-3}$ y $-75 \cdot 10^{-3} \mu m^2$.

10 **[0066]** De manera similar, el parámetro definido por S_3

$$S_3 = 2 \cdot \int_{r2}^{r3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$$

Es homogéneo con el producto de una superficie por un índice, y es representativo del aumento de índice en el anillo. El mismo está de preferencia comprendido entre $70 \cdot 10^{-3}$ y $210 \cdot 10^{-3} \mu m^2$.

[0067] Otro parámetro posible es el parámetro S_{123} , que se escribe como:

$$S_{123} = 2 \cdot \int_0^{r3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$$

15 Este parámetro es representativo del aumento medio del índice en comparación con el índice de la sílice, sobre el conjunto del perfil. El mismo es preferiblemente superior a $20 \cdot 10^{-3} \mu m^2$.

[0068] Uno de estos parámetros, o una combinación de varios de estos parámetros, permiten definir el perfil de una fibra, que puede ser utilizada como fibra de compensación de dispersión de una fibra con salto de índice.

20 Fibra DSF+

[0069] En el ejemplo de la fibra con dispersión desplazada positiva, se considera una fibra que presenta las características siguientes:

- 25 - dispersión cromática a 1570 nm: 9,2 ps/(nm.km);
- pendiente de dispersión cromática a 1570 nm: 0,058 ps/(nm².km);
- longitud de onda de corte de cable inferior a 1300 nm;
- área efectiva a 1.570 nm: 66 μm^2 ;

30 **[0070]** Una fibra tal, es comercializada por la solicitante con la referencia TeraLight; la misma se describe en la solicitud de patente nº 99 02 028, del 18 de febrero de 1999. Para tal fibra de línea, y un sistema de transmisión en las bandas C y L entre 1530 y 1610 nm, las fórmulas (1) y (2) dadas anteriormente, proporcionan, para una longitud de sección de fibra línea de 100 km y para una dispersión cromática acumulada inferior a 50 ps/nm:

$$130 \mu m \leq C/C' \leq 200 \mu m \quad (7)$$

$$\left| \frac{C'}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(\frac{20}{\frac{C}{C} \frac{1}{160} \times (1 \pm 0.22) - 1} \right) \quad (8)$$

35 **[0071]** Estos criterios son una vez más una aplicación específica de las fórmulas generalizadas (5) y (6) dadas anteriormente; en el caso de una fibra de línea con dispersión desplazada positiva, los parámetros a, b y c definidos anteriormente, verifican típicamente:

- 40 - $120 \leq a \leq 200$ nm,
- $0,2 \leq b \leq 0,25$,
- $c \leq 25$ nm.

[0072] Estos criterios pueden ser satisfechos, por las fibras que presentan los perfiles de las figuras 2 ó 3, con los valores dados en las tablas que siguen. Las notaciones utilizadas para estos perfiles son las mismas que anteriormente. Las fibras de T1 a T4 son fibras con núcleo rectangular y las fibras T5 y T6, fibras con núcleo trapezoidal.

45

Tabla 4

	r_{1a} (μm)	r_1 (μm)	r_{1b} (μm)	r_2 (μm)	r_3 (μm)	$10^3\Delta n_1$	$10^3\Delta n_2$	$10^3\Delta n_3$
Fibra T1	1,44	1,44	1,44	4,88	7,70	24,2	-7,2	5,3
Fibra T2	1,45	1,45	1,45	5,39	6,49	24,2	-8,1	14,3
Fibra T3	1,79	1,79	1,79	6,07	7,12	18,3	-6,3	17,4
Fibra T4	1,78	1,78	1,78	5,78	7,41	18,5	-6,9	10,9
Fibra T5	1,30	1,55	1,82	4,25	7,67	22,9	-9,9	4,4
Fibra T6	1,31	1,69	1,84	4,87	6,43	23,6	-9,4	10,2

[0073] Las fibras de la tabla 4, satisfacen los criterios (1) y (2) antes mencionados, para la fibra de dispersión desplazada considerada, y para los valores C_{cum} , L_g y $\Delta\lambda$, mencionados anteriormente. Las mismas presentan las características de propagación dadas en la tabla 5 a continuación, para una longitud de onda de 1570 nm.

Tabla 5

	λ_{cth} nm @1570	$2W_{02}$ μm @1570	S_{eff} μm^2 @1570	C ps/nm.km @1570	C/C' Nm @1570	F_t Nm @1570	$ C'/C $ nm @1570	PC_{1620} dB/m	S_{mc} @1570
Fibra T1	1845	4,5	16	-135	165	114	>150	<100	<0,5
Fibra T2	1711	4,4	15	-135	150	130	>150	>100	<0,5
Fibra T3	2020	5,1	22	-85	185	267	>500	<100	<0,5
Fibra T4	2010	5,0	21	-90	180	200	>200	<100	<0,5
Fibra T5	1.785	4,6	17	-155	170	133	>700	<100	<0,5
Fibra T6	1740	4,3	15	-95	175	160	>200	<100	<0,5

[0074] Las notaciones utilizadas en esta tabla son las mismas que en las de la tabla 2 relativas a la fibra SMF, eso cerca del límite inferior de la relación del módulo C'/C , es indicada F_t y no F_s y viene dada por la fórmula (8).

[0075] La tabla muestra que las fibras de la tabla 4, presentan características de propagación que permiten su utilización como fibra de compensación de dispersión en un repetidor o en un amplificador de un sistema de transmisión por fibra óptica, que utiliza la fibra con dispersión desplazada como fibra de línea. La fibra es adaptada para los valores de C/C' y del módulo de C'/C para compensar la dispersión cromática acumulada en la fibra de línea.

[0076] Como en los ejemplos de la tabla 1, en todos los ejemplos de la tabla 3, variaciones del 5% de índice Δn_1 de la porción central, o del 10% de índices Δn_2 y Δn_3 de la zanja enterrada y del anillo, permiten obtener resultados similares. Igualmente los radios, puede variar el 10% para r_1 y r_2 y el 5% para r_3 , respecto de los valores dados en los ejemplos de la tabla de la figura 1, todo ello obteniéndose resultados análogos.

[0077] Como en el caso anterior, la tabla 6 proporciona los parámetros de propagación, para una longitud de onda de 1550 nm y 1590 nm.

Tabla 6

	S_{eff} μm^2 @1550	C ps/nm.km @1550	C/C' Nm @1550	S_{eff} μm^2 @1590	C ps/nm.km @1590	C/C' Nm @1590
Fibra T1	15	-120	160	18	-150	170
Fibra T2	14	-120	150	17	-150	155
Fibra T3	20	-80	175	24	-105	215
Fibra T4	19	-82	170	22	-111	190
Fibra T5	16	-140	160	19	-170	195
Fibra T6	14	-85	175	16	-110	175

[0078] Desde el punto de vista del perfil, las dimensiones de la fibra de compensación de dispersión, pueden ser elegidas, aplicando una o varias de las desigualdades dadas a continuación, por una parte en lo que concierne a la parte central rectangular o en el anillo, se tiene ventajosamente:

- $18 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 30 \cdot 10^{-3}$, y

5 - $1,2 \leq r_1 \leq 1,9 \mu\text{m}$

[0079] Para la zanja enterrada, se pueden elegir los valores de la diferencia de índice de Δn_2 y de radio exterior r_2 de modo que se verifique:

- $-10 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_2 \leq -5,8 \cdot 10^{-3}$,

- $3,4 \leq r_2 \leq 6,1 \mu\text{m}$,

10 **[0080]** Para el anillo se pueden elegir los valores de diferencia de índice Δn_3 y radio exterior r_3 con el fin de verificar:

- $1 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_3 \leq 17,5 \cdot 10^{-3}$,

- $6,25 \leq r_3 \leq 8,3 \mu\text{m}$,

[0081] Los parámetros S_1 , S_{11} , S_2 , S_3 y S_{123} , definidos anteriormente pueden verificar las desigualdades siguientes:

- $50 \cdot 10^{-3} \leq S_1 \leq 60 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$;

15 - $S_{11} \leq 110 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3$;

- $-230 \cdot 10^{-3} \leq S_2 \leq -145 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$;

- $180 \cdot 10^{-3} \leq S_3 \leq 260 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$;

- $20 \cdot 10^{-3} \leq S_{123} \leq 145 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

20 **[0082]** Naturalmente, la presente invención no está limitada a los ejemplos y realizaciones descritos y representados, sino que es susceptible de numerosas variantes accesibles para el experto. Así, las fórmulas (1) o (2) anteriores también se aplican a otras fibras distintas a las fibras con salto de índice y con dispersión desplazada que se han dado a título de ejemplo anteriormente. También se puede imponer a los parámetros C_{cum} , L_g o $\Delta\lambda$, otros valores a los propuestos en los ejemplos. Típicamente, en los actuales sistemas de transmisión con multiplexación en longitudes de ondas, C_{cum} es inferior a 50 ps/nm, pero valores del orden de 100 ps/nm o 200 ps/nm son posibles.

25 El ejemplo de longitud L_g de 100 km corresponde a la distancia entre los repetidores de un sistema de transmisión terrestre del estado de la técnica; esta distancia depende en realidad de pérdidas en la fibra de línea y podría aumentar con la mejora de la fibra de línea. Por último, la semi-anchura de la banda $\Delta\lambda$, podría también ser diferente, si utilizan bandas distintas de las bandas C y L. Por ejemplo, para una transmisión en bandas C y S, entre 1460 nm y 1530 nm, se tendría un valor de $\Delta\lambda$ de 35 nm; para una transmisión en bandas C, L y S, se tendría un

30 valor de 80 nm.

Reivindicaciones

1. Un sistema de transmisión por fibra óptica, que presenta una sección (6i) de fibra de línea y una sección (12j) de fibra de compensación que compensa la dispersión cromática en la sección de fibra de línea, en el que para una longitud de onda de la gama de longitud de onda utilizada en el sistema de transmisión, la dispersión cromática C de la fibra compensación de dispersión y la pendiente C' de la dispersión cromática, verifican:

$$\frac{C_g}{C'_g} \times \frac{1}{1 + C_{cum}/(L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda)} \leq \frac{C}{C'} \leq \frac{C_g}{C'_g} \times \frac{1}{1 - C_{cum}/(L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda)} \quad (1)$$

siendo C_g, la dispersión cromática de la fibra de línea, C'_g la derivada, con respecto de la longitud de onda, de la dispersión cromática de la fibra de línea, C_{cum}, el límite superior del módulo de la dispersión cromática acumulada admitida en la sección de fibra de línea y Δλ la semi-anchura de la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión, y en el que la pendiente de dispersión cromática C' y la primera derivada de esta pendiente C'', respecto de la longitud de onda, de la fibra de compensación de dispersión, para una longitud de onda sustancialmente mediana de la gama de longitud de onda utilizada en el sistema de transmisión, verifican:

$$\left| \frac{C}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \times \left(\frac{C \cdot C'_g}{C' \cdot C'_g} \times \left(1 \pm \frac{C_{cum}}{L_g \cdot C'_g \cdot \Delta\lambda} \right) - 1 \right)^{-1} \right) \quad (2)$$

presentando la fibra de dispersión de compensación, una dispersión cromática C inferior a -40 ps/(nm.km), o incluso inferior a -45 ps/(nm.km) a 1550 nm, una pendiente C' de dispersión cromática y una primera derivada C'' de la pendiente de la dispersión cromática respecto de la longitud de onda, que verifican:

$$a \times \frac{1}{1 + b} \leq \frac{C}{C'} \leq a \times \frac{1}{1 - b}$$

y

$$\left| \frac{C'}{C''} \right| \geq \text{Max} \left(c \times \left(\frac{C}{C'} \times \frac{1}{a} \times (1 \pm b) - 1 \right)^{-1} \right)$$

para una longitud de onda próxima a 1570 nm, con parámetros a, b y c que verifican:

280 ≤ a ≤ 360 nm o 120 ≤ a ≤ 200 nm,
0,2 ≤ b ≤ 0,25 y
c ≤ 25 nm.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que las restricciones (1) y (2) se verifican para una longitud de onda sensiblemente mediana de la gama de longitud de onda utilizada en el sistema de transmisión.

3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque la diferencia entre dicha longitud de onda sensiblemente mediana y la longitud de onda mediana de la gama de longitud de onda utilizada en el sistema de transmisión, difiere en menos del 10% de la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión.

4. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta pérdidas por curvatura inferiores o iguales a 400 dB/m o incluso inferiores o iguales a 100 dB/m para un arrollamiento alrededor de un manguito de 10 mm de radio, en toda la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión.

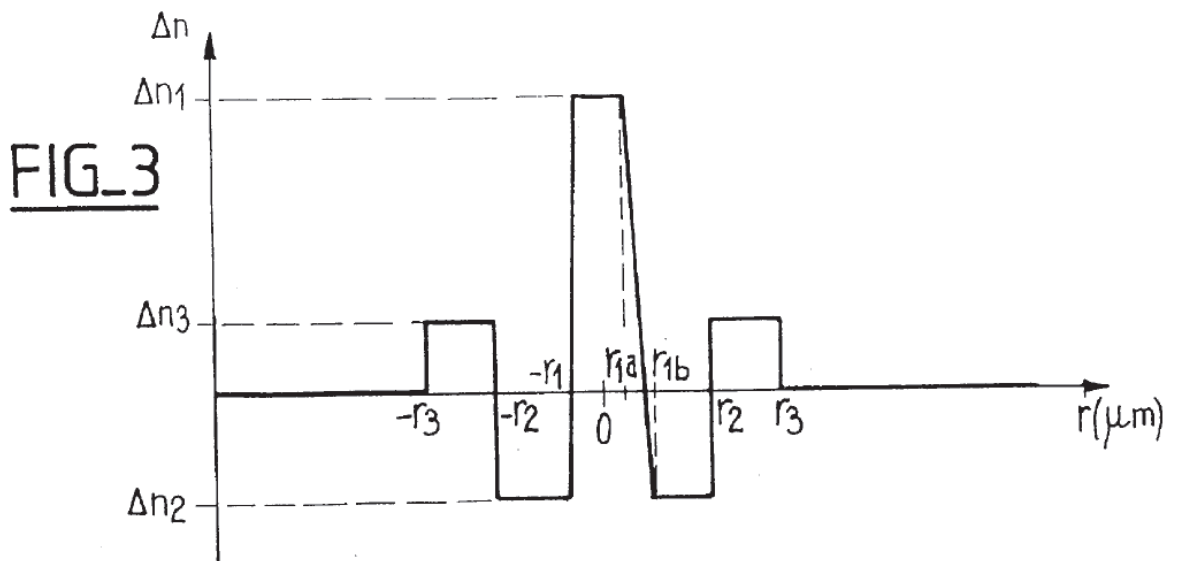
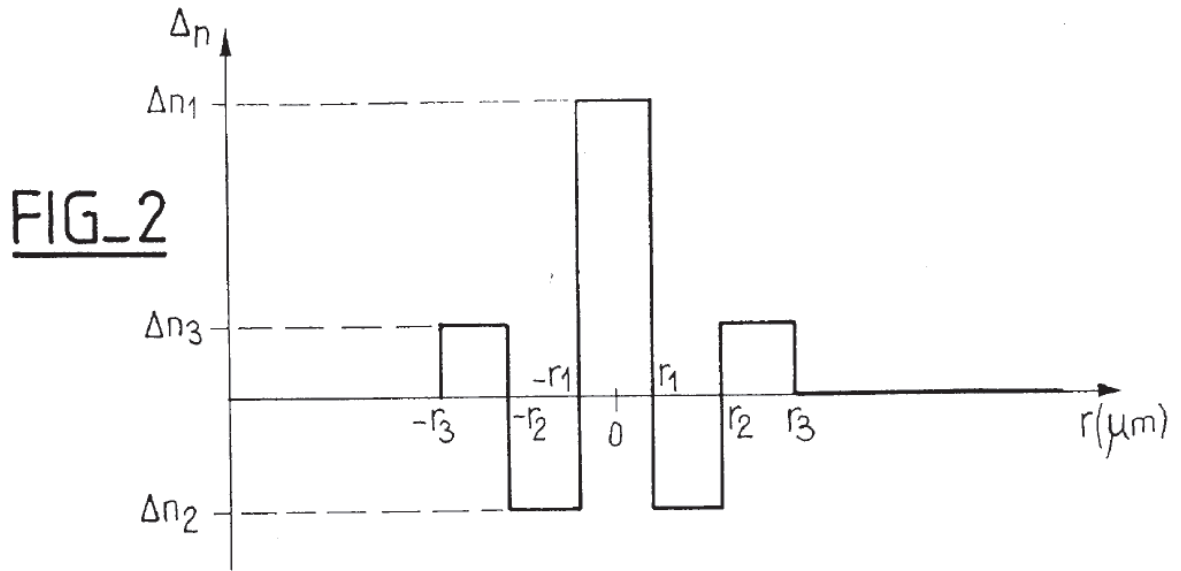
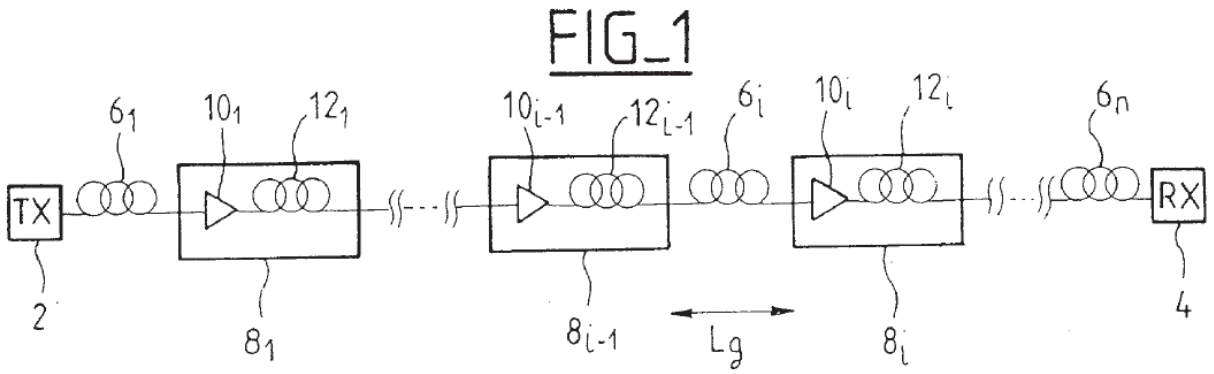
5. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta pérdidas por curvatura inferiores o iguales a 0,05 dB o incluso inferiores o iguales a 10⁻³ dB para un arrollamiento de 100 vueltas sobre un manguito de 30 mm de radio, para toda la gama de longitudes de onda utilizada en el sistema de transmisión.

6. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta un área efectiva superior o igual a 12 μm² a 1550 nm.

7. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta una dispersión modal de polarización inferior o igual a 0,5 ps/ km^{1/2} a 1550 nm.

8. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta una atenuación inferior a 1 dB/km o incluso a 0,8 dB/km a 1550 nm.
- 5 9. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque la relación entre el límite superior del módulo de la dispersión cromática acumulada C_{cum} y la longitud L_0 de una sección de fibra de línea, es inferior a 0,5 ps/(nm.km), o incluso a 0,1 ps/(nm.km).
- 10 10. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque la fibra de línea es una fibra con salto de índices.
11. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado porque la fibra de línea es una fibra con dispersión desplazada con dispersión cromática positiva.
- 15 12. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta un perfil de índice de perfil rectangular con zanja enterrada y anillo.
13. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta un perfil de índice trapezoidal con zanja enterrada y anillo.
- 20 14. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta pérdidas por curvatura inferiores o iguales a 400 dB/m, o incluso inferiores o iguales a 100 dB/m para un arrollamiento alrededor de un manguito de 10 mm de radio, para longitudes de onda comprendidas entre 1530 y 1620 nm.
- 25 15. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta pérdidas por curvatura inferiores o iguales a 0,05 dB, incluso inferiores o iguales a 10^{-3} dB para un arrollamiento de 100 vueltas sobre un manguito de 30 mm de radio, para longitudes de onda comprendidas entre 1530 y 1620 nm.
- 30 16. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado porque la fibra de compensación de dispersión, presenta una área efectiva superior o igual a $12 \mu\text{m}^2$ a 1550 nm.
- 35 17. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado porque el mismo presenta una dispersión modal de polarización inferior o igual a $0,5 \text{ ps/km}^{1/2}$ a 1550 nm.
18. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 17, caracterizado porque el mismo presenta una atenuación inferior a 1 dB/km, incluso a 0,8 dB/km a 1550 nm.
- 40 19. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, la diferencia (Δn_1) entre el índice rectangular o trapezoidal y el índice del revestimiento está comprendida entre $18 \cdot 10^{-3}$ y $30 \cdot 10^{-3}$, y porque el radio (r_1) de la parte de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendido entre 1,2 y 2,1 μm .
- 45 20. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 19, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, la diferencia (Δn_2) entre el índice de la zanja deprimida y el índice del revestimiento está comprendida entre $-8,5 \cdot 10^{-3}$ y $-4,5 \cdot 10^{-3}$, y porque el radio exterior (r_2) de esta zanja está comprendido entre 3,4 y 6,1 μm .
- 50 21. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 20, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, la diferencia (Δn_3) entre el índice del anillo y el índice del revestimiento, está comprendida entre $1 \cdot 10^{-3}$ y $15 \cdot 10^{-3}$ y porque el radio exterior (r_3) del anillo está comprendido entre 5,9 y 8 μm .
- 55 22. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 21, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice entre un radio nulo y el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendido entre $48 \cdot 10^{-3}$ y $65 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.
- 60 23. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 22, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, el triple de la integral del producto del cuadrado del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, es inferior a $110 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3$.
24. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 23, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento y el radio interior (r_2) del anillo está comprendido entre $-155 \cdot 10^{-3}$ y $-75 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

25. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 24, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio interior (r_2) y el radio exterior (r_3) del anillo, está comprendido entre $70 \cdot 10^{-3}$ y $210 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.
- 5 26. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 25, caracterizado porque siempre que $280 \leq a \leq 360$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio exterior (r_3) del anillo es superior a $20 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.
- 10 27. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, la diferencia (Δn_1) entre el índice del rectángulo o del trapecio y el índice del revestimiento, está comprendida entre $18 \cdot 10^{-3}$ y $30 \cdot 10^{-3}$, y porque el radio (r_1) de la parte de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendido entre 1,2 y 1,9 μm .
- 15 28. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18 y 27, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, la diferencia (Δn_2) entre el Índice de la zanja deprimida y el índice del revestimiento, está comprendida entre $-10 \cdot 10^{-3}$ y $-5,8 \cdot 10^{-3}$, y porque el radio exterior (r_2) de esta zanja está comprendido entre 3,4 y 6,1 μm .
- 20 29. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18 y 27 a 28, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, la diferencia (Δn_3) entre el índice del anillo y el índice del revestimiento, está comprendida entre $1 \cdot 10^{-3}$ y $17,5 \cdot 10^{-3}$ y porque el radio exterior (r_3) de este anillo está comprendido entre 6,25 y 8,3 μm .
- 25 30. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18 y 27 a 29, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice entre, un radio nulo y el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, está comprendido entre $50 \cdot 10^{-3}$ y $60 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.
- 30 31. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18 y 27 a 30, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, el triple de la integral del producto del cuadrado del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio (r_1) exterior de la parte central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento, es inferior a $110 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3$.
- 35 32. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18 y 27 a 31, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio (r_1) exterior de la porción central de la fibra que presenta un índice superior al del revestimiento y el radio interior (r_2) del anillo, está comprendido $-230 \cdot 10^{-3}$ y $-145 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.
- 40 33. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18 y 27 a 32, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre el radio interior (r_2) y el radio exterior (r_3) del anillo, está comprendido entre $180 \cdot 10^{-3}$ y $260 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.
34. El sistema de una de las reivindicaciones 1 a 18 y 27 a 33, caracterizado porque siempre que $120 \leq a \leq 200$ nm, el doble de la integral del producto del radio por el índice, entre un radio nulo y el radio exterior (r_3) del anillo, está comprendido entre $20 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $145 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- FR 790107 A2 [0007]
- FR 0002316 [0008]
- US 5568583 A [0010]
- US 5361319 A [0010]
- WO 9913366 A [0011]
- WO 9902028 A [0070]