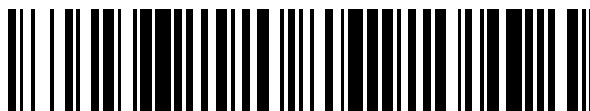


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 456 048**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/028** (2006.01)

**G02B 6/036** (2006.01)

**G02B 6/293** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.08.2002 E 02291947 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014 EP 1288685**

54 Título: **Fibra óptica para un sistema de transmisión con multiplexación por división de longitud de onda**

30 Prioridad:

**27.08.2001 FR 0111130**

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

**21.04.2014**

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)  
DE BOELELAAN 7  
1083 HJ AMSTERDAM, NL**

72 Inventor/es:

**SILLARD, PIERRE;  
BEAUMONT, FLORENT;  
FLEURY, LUDOVIC;  
GORLIER, MAXIME;  
DE MONTMORILLON, LOUIS-ANNE y  
NOUCHI, PASCALE**

74 Agente/Representante:

**ARPE FERNÁNDEZ, Manuel**

ES 2 456 048 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

Fibra óptica para un sistema de transmisión con multiplexación por división de longitud de onda

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de transmisiones por fibra óptica, y más específicamente a los sistemas de transmisión con multiplexación por división de longitud de onda.
- 10 **[0002]** Para las fibras ópticas, se denomina generalmente el perfil de índice en función de la apariencia de la gráfica de la función que asocia el radio de la fibra al índice de refracción. De manera convencional en el eje de abscisas se prepresenta la distancia  $r$ , al centro de la fibra y en ordenadas la diferencia entre el índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento de la fibra. Se habla de perfil de índice en "escalón", en "trapecio" o en "triángulo" para referirse a los gráficos que tienen respectivas formas de escalón, trapecio o triángulo. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o de referencia 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 altas tasas de datos y multiplexadas por división de longitud de onda, es ventajoso administrar la dispersión cromática, en particular, para tasas superiores o iguales a 40 Gbit/s o 160 Gbit/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 para la dispersión de algunas decenas de ps/nm es generalmente aceptable. También es interesante evitar en la proximidad de longitudes de onda utilizadas en el sistema los valores nulos de la dispersión cromática local, para las cuales son más importantes los efectos no lineales. Por último, es también interesante limitar la pendiente de dispersión cromática en el rango del múltiplex; valores bajos de pendiente limitan las distorsiones entre los canales múltiplex y facilitan la compensación de la dispersión sobre el conjunto del múltiplex. Esta pendiente es convencionalmente, la derivada de la dispersión cromática respecto de la longitud de onda.
- 20 **[0004]** Convencionalmente como fibra de línea para los sistemas de transmisión de fibras ópticas, se utilizan fibras con salto de índice, también llamadas fibras SMF (abreviatura de la expresión inglesa "Single Mode Fiber" [fibra de modo único o monomodo]). La solicitante comercializa así bajo la referencia ASMF 200 una fibra de modo único con salto de índice que para 1550nm presenta una dispersión cromática de alrededor de 17 ps/(nm.km). La pendiente de dispersión cromática a 1550 nm es aproximadamente 0,06 ps/(nm<sup>2</sup>.km).
- 25 **[0005]** También están presentes en el mercado fibras con dispersión desplazada, o DFS (acrónimo del inglés "Dispersión Shifted fibers" [fibras de dispersión desplazada]). Se califican como NZ-DSF+ (acrónimo del inglés "non-zero dispersion shifted fibers" [fibras de dispersión desplazada no nula]) fibras con dispersión desplazada, que presentan una dispersión cromática distinta de cero y positiva para las longitudes de onda en las que se utilizan, típicamente alrededor de 1550 nm. Estas fibras presentan para estas longitudes de onda una dispersión cromática baja, típicamente inferior a 11 ps/(nm.km) para 1550 nm, y una pendiente de dispersión cromática comprendida entre 0,04 y 0,1 ps/(nm<sup>2</sup>.km).
- 30 **[0006]** El documento FR-A 2790107 (EP-A-1030199) propone una fibra de línea, particularmente adaptada a una transmisión con densa multiplexación por división de longitudes de onda, con una separación entre canales de 100 GHz o menor para un tasa por canal de 10 Gbit/s o mayor; esta fibra presenta para una longitud de onda de 1550 nm una superficie efectiva superior o igual a 60  $\mu\text{m}^2$ , una dispersión cromática comprendida entre 6 y 10 ps/(nm.km) y una pendiente de dispersión cromática inferior a 0,07 ps/(nm<sup>2</sup>.km). Para esta longitud de onda, las pérdidas por curvatura son del orden de 10 dB/m, para un enrollamiento de la fibra alrededor de un manguito de 10 mm de radio. Para una longitud de onda de 1625 nm, las pérdidas por curvatura llegan valores de 50 dB/m.
- 35 **[0007]** La solicitud de patente francesa N° 0002316 presentada el 24/02/2000 (véase el documento EP-A-1128196) y titulada "Fibra óptica de modo único en cable para redes de transmisión de fibra óptica con multiplexación por división de longitudes de onda" propone una fibra de línea que para 1.550 nm, presenta una dispersión cromática comprendida entre 5 y 11 ps/(nm.km), una pendiente de dispersión cromática comprendida entre 0,01 y 0,04 ps/(nm<sup>2</sup>.km) y unas pérdidas por curvatura, medidas por enrollado sobre un manguito de 10 mm de radio, del orden de 10 dB/m. Para una longitud de onda de 1625 nm, las pérdidas por curvatura alcanzan valores de 50 dB/m.
- 40 **[0008]** El documento EP-A-1018656 propone fibras ópticas de modo único con dispersión desplazada, que en un rango de longitud de onda de 1400 a 1650 nm, presentan un máximo de dispersión cromática y una pendiente de dispersión cromática en valor absoluto inferior a 0,05 ps/(nm<sup>2</sup>.km).
- 45 **[0009]** El documento EP-A-1081514 propone una fibra óptica adaptada para la compensación en línea de la dispersión cromática en una fibra de dispersión desplazada. Esta fibra presenta para una longitud de onda de 1550 nm y un dispersión cromática negativa y superior a -40 ps/(nm.km), una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática comprendida entre 50 y 230 nm, un superficie efectiva superior o igual a 10  $\mu\text{m}^2$ , pérdidas por curvatura inferiores o iguales a 0,05 dB y una longitud de onda de corte teórico superior o igual a 1100 nm.
- 50 **[0010]** En comparación con estas diferentes fibras NZ-DSF+, la invención propone una fibra que presenta una pendiente de dispersión reducida (casi nula), y así pues una dispersión cromática, aproximadamente constante en un amplio rango de longitudes de onda, lo cual limita la distorsión entre canales. Así pues, la fibra puede ser utilizada en un sistema de transmisión con multiplexación por división de longitudes de onda, con un mayor número de canales.
- 55 **[0011]** Más específicamente, la invención propone un cable de fibra óptica de modo único como se define en la reivindicación 1.
- 60 **[0012]** La fibra puede presentar ventajosamente una o más de las siguientes características ópticas:
- 65

- 5 - para una longitud de onda de 1550 nm una superficie efectiva superior o igual a  $40 \mu\text{m}^2$ ;
- una longitud de onda  $\lambda_0$  de anulación de la dispersión cromática inferior o igual a 1400 nm;
- para una longitud de onda de 1550 nm un diámetro modal  $2W_{02}$  superior o igual a  $6,4 \mu\text{m}$ ;
- para una longitud de onda de 1550 nm, pérdidas por curvatura, medidas para un radio de 10 mm, inferiores a 100 dB/m;
- para una longitud de onda de 1675 nm pérdidas por curvatura, medidas para un radio de 10 mm, inferiores a 400 dB/m;
- para una longitud de onda de 1550 nm, pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un manguito de 30 mm de radio, inferiores a  $10^{-2}$  dB;
- 10 - para una longitud de onda de 1625 nm, pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un manguito de 30 mm de radio, inferiores a 0,1 dB;
- para una longitud de onda de 1675 nm, pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un manguito de 30 mm de radio, inferiores a 0,5 dB;
- 15 - una longitud de onda de corte teórico inferior o igual a 1850 nm, y preferiblemente inferior o igual a 1800 nm;
- una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1625 nm, respecto a su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 35%, y preferiblemente inferior o igual al 25% o incluso inferior o igual al 20 %;
- una variación de dispersión cromática entre 1460 y 1675 nm, respecto su valor a 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 40%, y preferiblemente inferior o igual al 35% o incluso inferior o igual al 25%;
- una variación en la dispersión cromática entre 1460 y 1625 nm, respecto a su valor a 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a  $2 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ , y preferiblemente inferior o igual a  $1 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ;
- 20 - una variación de dispersión cromática entre 1460 y 1675 nm, respecto a su valor a 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a  $3 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ , y preferiblemente inferior o igual a  $2 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ;
- para una longitud de onda de 1550 nm, una dispersión cromática C comprendida entre 5 y  $11 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ;
- para una longitud de onda de 1550 nm, una pendiente de dispersión cromática C' inferior o igual en valor absoluto a  $0,012 \text{ ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$  y preferiblemente inferior a  $0,010 \text{ ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$ ;
- 25 - para una longitud de onda de 1550 nm, un producto entre la superficie efectiva y la relación entre la pendiente de dispersión cromática y la dispersión cromática superior a  $12000 \mu\text{m}^2\cdot\text{nm}$  en valor absoluto;
- para una longitud de onda de 1550 nm, una sensibilidad a microcurvaturas inferior o igual a 1, y preferiblemente inferior o igual a 0,8;
- 30 - para una longitud de onda de 1550 nm, una atenuación inferior o igual a 0,24 dB/km;
- para una longitud de onda de 1550 nm una dispersión modal de polarización inferior o igual a  $0,2 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ , y preferiblemente inferior o igual a  $0,1 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$  o incluso inferior o igual a  $0,05 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ .
- [0013]** Las características del perfil de la fibra pueden elegirse de manera ventajosa entre las siguientes:
- 35 - la relación entre el radio interior y el radio exterior del trapecio está comprendida entre 0,55 y 1;
- la integral del índice entre un radio cero y el radio ( $r_1$ ) de la porción externa central de la fibra que presenta un índice mayor que el del revestimiento es superior a  $23 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ ;
- la doble la integral del producto del índice por el radio, entre un radio cero y el radio ( $r_1$ ) de la porción externa central de la fibra que presenta un índice mayor que el del revestimiento, está comprendida entre  $65 \cdot 10^{-3}$  y  $90 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;
- 40 - la triple integral del producto del índice por el cuadrado del radio, entre un radio de cero y el radio ( $r_1$ ) de la porción externa central de la fibra que tiene un índice mayor que el del revestimiento está comprendida entre  $180 \cdot 10^{-3}$  y  $305 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3$ ;
- la integral del índice entre el radio interior ( $r_2$ ) y el radio exterior ( $r_3$ ) del anillo está comprendida entre  $4 \cdot 10^{-3}$  y  $12 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ ;
- 45 **[0014]** La invención propone aún un sistema de transmisión con multiplexación por división de longitudes de onda que como fibra de línea comprende una fibra tal.
- [0015]** Resulta ventajoso que el sistema comprenda, además, como fibra de línea, una fibra que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión cromática distinta de cero y positiva y una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática comprendida entre 50 y 400 nm. En este caso, la longitud de la fibra de la invención es preferiblemente superior o igual a la longitud de la fibra que presenta una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática entre 50 y 400 nm.
- 50 **[0016]** Puede aún estar prevista una fibra de compensación de dispersión que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática superior o igual a 250 nm.
- 55 **[0017]** De manera ventajosa, el sistema de transmisión presenta un rango de utilización comprendido entre las longitudes de onda de 1460 y 1625 nm, y de preferencia entre las longitudes de onda de 1460 y 1675 nm, incluso entre las longitudes de onda de 1300 y 1700 nm.
- [0018]** Otras características y ventajas de la invención aparecerán de la lectura de la siguiente descripción de formas de realización de la invención, dadas a título de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:
- 60 - figura 1, una representación esquemática de un sistema de transmisión;
- figura 2, una representación esquemática del perfil de índice de referencia de fibras de acuerdo con la invención;
- figura 3, una gráfica de la dispersión cromática en función de la longitud de onda para fibras conocidas y fibras de acuerdo con la invención;
- figura 4, una vista parcial a mayor escala de la figura 3.

**[0019]** La invención propone una fibra de modo único en cable que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión cromática comprendida entre 3 y 14 ps/(nm.km) y una pendiente de dispersión cromática inferior en valor absoluto a 0,014 ps/(nm<sup>2</sup>.km). También muestra pérdidas por curvatura, medidas para un radio de 10 mm, inferiores a 400 dB/m para una longitud de onda de 1625 nm; se apreciará a partir de este punto de vista que las pérdidas por curvatura son una función creciente de la longitud de onda y que el límite superior propuesto, corresponde a aplicar un límite en todo el rango por debajo de 1625 nm. Los criterios propuestos permiten una utilización de la fibra en un sistema de transmisión con multiplexación por división de longitudes de onda, en una amplia banda de longitudes de onda; la fibra puede cablearse y utilizarse desde 1300 hasta 1700 nm. En todo en rango de utilización, la dispersión cromática y la pendiente de dispersión presentan valores aceptables.

**[0020]** De manera más precisa, el hecho de que la fibra sea de modo único en cable, en un rango de longitudes de onda desde 1300 a 1700 nm, le permite asegurar una propagación de modo único de canales del múltiplex. La ITU-T G 650 ofrece una definición de la longitud de onda de corte en cable. La longitud de onda de corte teórico de la fibra es generalmente superior a varios cientos de nanómetros en longitud de onda de corte en cable. De hecho parece que la propagación en una fibra óptica en cable puede ser de modo único, incluso sí la longitud de onda de corte teórico es superior a la longitud de onda de las señales utilizadas: de hecho, más allá de una distancia de unos pocos metros o decenas de metros, que es pequeña en comparación con las distancias de propagación en las redes de transmisión de fibra óptica, los modos secundarios desaparecen a causa de un debilitamiento demasiado importante. La propagación en el sistema de transmisión es entonces de modo único. Podría por lo tanto también ser reemplazado este criterio por un criterio sobre la longitud de onda de corte teórico que podría ser inferior o igual a 1850 nm, y preferiblemente inferior o igual a 1800 nm.

**[0021]** El umbral inferior propuesto para los valores propuestos de la dispersión cromática o evita o limita los efectos no lineales en la fibra - mezcla a cuatro ondas, modulación de fase cruzada-. El umbral superior del rango de valores de la dispersión cromática permite compensar la dispersión cromática acumulada, sin que la longitud de la fibra de compensación sea demasiado grande. El bajo valor de la pendiente de dispersión cromática propuesto permite por una parte compensar la fibra nada más que en dispersión, y no más en dispersión y en pendiente en todo el rango de longitudes de onda. De hecho, la pendiente de dispersión cromática es tan pequeña que es posible no compensar la pendiente de dispersión cromática. Por otra parte, este bajo valor de la pendiente de dispersión limita las distorsiones inducidas entre los diferentes canales del multiplex, como se indicó anteriormente.

**[0022]** El umbral propuesto para las pérdidas por curvatura asegura una buena capacidad de la fibra para soportar el cableado, en todo el rango de longitudes de onda utilizado en el sistema de transmisión. La figura 1 muestra una representación esquemática de un sistema de transmisión con multiplexación por división de longitudes de onda. Se muestran en la figura 1 el transmisor TX 2 y el receptor RX 4 del sistema de transmisión, entre los cuales se extiende la fibra de línea. Línea de fibra está formada por secciones 6<sub>1</sub> a 6<sub>n</sub>, separadas por repetidores 8<sub>1</sub> a 8<sub>n-1</sub>, cada repetidor 8<sub>i</sub> tiene un amplificador 10<sub>i</sub>, cuya estructura no afecta al funcionamiento de la invención, y por lo tanto no se describe. A la salida del amplificador está prevista una sección 12 de fibra de compensación de dispersión. Situar la fibra de compensación de dispersión aguas abajo del amplificador permite limitar los efectos de una fuerte atenuación en esta fibra. Son posibles modificaciones en el sistema de transmisión de la figura 1: así, pueden proporcionarse filtros, un amplificador aguas abajo de la fibra de compensación de dispersión, etc. La fibra de compensación también puede disponerse en los repetidores. En un sistema del tipo de la figura 1, puede utilizarse como fibra de línea la fibra de la invención.

**[0023]** En el sistema de la figura 1, la fibra de la invención puede ser compensada en dispersión, sin que sea necesario también compensar la pendiente de dispersión cromática. De manera más precisa, el valor de la pendiente de dispersión cromática es tal que ya no es necesario como en la técnica anterior tener que compensar a la vez la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática. De hecho, puede considerarse que la dispersión cromática es constante, y no compensar la pendiente de dispersión cromática.

**[0024]** También es posible utilizar como fibra de línea una combinación de la fibra de la invención y una fibra de la técnica anterior. En la medida en que la fibra de la invención presenta una dispersión cromática esencialmente nula, esta combinación permite variar la relación C/C' entre la dispersión cromática respecto de la pendiente de dispersión cromática para la fibra de compensación de dispersión utilizada en el sistema. Se denota con C<sub>1</sub> y C<sub>1</sub>' la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática de la fibra de la invención, y con C<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>' la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática de la fibra de la técnica anterior. Sea una sección de fibra de línea, formado por una longitud l<sub>1</sub> de fibra de la invención y una longitud l<sub>2</sub> de fibra de la técnica anterior. Para compensar la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática de la sección, se elige una fibra de compensación de dispersión cromática, que tiene una relación C/C' dada por

$$C/C' = (l_1 \cdot C_1 + l_2 \cdot C_2) / (l_1 \cdot C'_1 + l_2 \cdot C'_2) \approx (l_1 \cdot C_1 + l_2 \cdot C_2) / (l_2 \cdot C'_2)$$

ya que la fibra de la invención presenta una pendiente de dispersión cromática C<sub>1</sub>' sustancialmente nula.

**[0025]** De esta ecuación resulta claramente que la combinación de fibras permite hacer variar la relación de C/C' de la fibra de compensación de dispersión respecto de la relación de C<sub>2</sub>/C'<sub>2</sub> de la fibra de la técnica anterior.

**[0026]** Se da ahora un ejemplo de una configuración tal. En este ejemplo, consideramos una sección de una longitud de 100 km, con longitudes l<sub>1</sub> y l<sub>2</sub> longitudes de 50 km. La fibra de la técnica anterior es una fibra TeroLight descrita en el documento FR-A-2790107, que presenta para 1550 nm una dispersión cromática de 8 ps/(nm.km) y una pendiente de dispersión cromática de 0,058 ps/(nm<sup>2</sup>.km). La relación C<sub>2</sub>/C'<sub>2</sub> para esta fibra es de 8/0,058, es decir del orden de 140 nm. La fibra de la presente invención presenta en un primer caso, una dispersión cromática de 8,2

ps/(nm.km) y una pendiente de dispersión cromática de 0,0007 ps/(nm<sup>2</sup>.km) y en un segundo caso, una dispersión cromática 4,5 ps/(nm.km) y una pendiente de dispersión cromática de 0,0048 ps/(nm<sup>2</sup>.km). En el primer caso, la dispersión cromática acumulada en la sección es del orden de 810 ps/nm y en el segundo caso del orden de 625 ps/nm. Se podrá compensar esta sección, no ya con una fibra de compensación de C/C' en el intervalo de 140 nm, sino con una fibra de compensación de relación 810/2.935 ~ 16,2/0,058, es decir del orden de 280 nm en el primer caso, y de relación del orden de 200 nm en el segundo caso. La fibra de compensación de dispersión cromática con una relación C/C' de 140 nm adaptada a la fibra TeraLight o con relación C/C' del orden de 200 nm, se describe en el documento FR-A-2795828. Una fibra de compensación de dispersión cromática que presenta una relación C/C' de 280 nm es una fibra adaptada a la compensación de la dispersión cromática de una fibra SMF que puede encontrarse en el comercio. Las tres fibras de compensación presentan valores de dispersión cromática tan pequeñas como sea posible, que son comparables. La combinación de una fibra de la invención con una fibra de la técnica anterior permite ya sea aumentar la relación C/C' de la fibra de compensación adaptada a la compensación de la fibra de la técnica anterior y por lo tanto reducir sus pérdidas por atenuación y aumentar su superficie efectiva o bien disminuir su longitud requerida, es decir ambas, y por tanto en todos los casos disminuir las pérdidas por atenuación en esta fibra.

[0027] Aún en el mismo ejemplo, una sección de 100 km de fibra TeraLight puede ser compensada en dispersión por una longitud de fibra de compensación de dispersión del orden de 8 km que presenta pérdidas por atenuación de alrededor de 0,7 dB/km. En cambio, la combinación de 50 km de fibra TeraLight con fibra de la invención puede ser compensada en dispersión, en el primer caso por una longitud de fibra de compensación de alrededor de 8,1 km, pero que presenta pérdidas por atenuación de alrededor de 0,5 dB/km, y en el segundo caso, mediante una longitud de fibra de compensación del orden de 6,25 km y que presenta pérdidas por atenuación del orden de 0,6 dB/km. Las pérdidas por atenuación en la fibra de compensación son en el caso de la TeraLight 5,6 dB, y en las otras de 4,05 dB y 3,75 dB.

[0028] Se puede, por supuesto, utilizar otras fibras de la técnica anterior como la del ejemplo. Es interesante que esta fibra sea una fibra NZ-DSF+, con una dispersión cromática parecida a la fibra de la invención, esto limita las variaciones de la dispersión cromática durante la transición de una a otra fibra y permite conservar el valor inicial y por lo tanto optimizado de la dispersión cromática. La fibra NZ-DSF+ puede por lo tanto estar caracterizada por una dispersión cromática positiva y no nula para una longitud de onda de 1550 nm, y por una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática comprendida entre 50 y 400 nm para esta misma longitud de onda.

[0029] Es ventajoso que la fibra de línea utilizada aguas arriba sea la que presente la superficie efectiva mayor, en la medida en que esto permite limitar los efectos no lineales. En la fibra aguas abajo, la superficie efectiva más pequeña no es perjudicial debido a la disminución del nivel óptico.

[0030] La relación de longitudes de fibras en la combinación puede variar con respecto al ejemplo anterior. Es preferible que la longitud de la fibra de la invención sea superior o igual a la de la fibra con pendiente no nula. El efecto de esta limitación es que la relación C/C' fibra de compensación puede llegar a dos veces la relación C<sub>2</sub>/C'<sub>2</sub> de la fibra de la técnica anterior. En el ejemplo de una fibra NZ-DSF+, doblar la relación C<sub>2</sub>/C'<sub>2</sub> permite alcanzar los valores de relación C/C' habituales de fibras de compensación para SMF, lo que también está acompañado por un aumento de la superficie efectiva de estas fibras de compensación. En este caso, la fibra de compensación de dispersión puede estar caracterizada por una relación C/C' superior a 250 nm, y una superficie efectiva superior a 18 μm<sup>2</sup> para una longitud de onda de 1550 nm. El límite superior de la relación C/C' se alcanza cuando la fibra de línea se compone en su totalidad de fibra de la invención - como se mencionó anteriormente-.

[0031] Por otra parte, la fibra de acuerdo con la invención permite la utilización en un sistema de transmisión de longitudes de onda que se extiende en un rango mayor. Más específicamente, los sistemas de transmisión actuales funcionan por lo general en la banda C, es decir, entre 1530 y 1565 nm; un sistema que utiliza la fibra de la invención puede funcionar también en longitudes de onda más altas, y por ejemplo, como la banda L y banda U. Se denominan banda L y banda U los rangos de longitudes de onda que se extienden más allá de la banda C hasta longitudes de onda del orden de 1620 o 1625 nm para la banda L y 1675 nm para la banda U. La fibra de la invención permite realizar sistemas de transmisión en las bandas C, L y U, o sólo en banda L o en banda U. La fibra también se puede utilizar en la banda S, que se extiende por debajo de la banda C en longitudes de onda comprendidas entre 1460 y 1530 nm.

[0032] Además de las características anteriormente mencionadas, resulta venatojo que la fibra presente adicionalmente una o más de las características siguientes:

- una superficie efectiva superior o igual a 40 μm<sup>2</sup> para una longitud de onda de 1550 nm;
- una longitud de onda λ<sub>0</sub> de anulación de la dispersión cromática menor o igual a 1400 nm;
- un diámetro modal 2W<sub>02</sub> superior o igual a 6,4 μm para una longitud de onda de 1550 nm;
- pérdidas por curvatura, medidas para enrollamiento de la fibra alrededor de un manguito de radio de 10 mm, inferiores a 100 dB/m para una longitud de onda de 1550 nm;
- pérdidas por curvatura, medidas para enrollamiento de la fibra alrededor de un manguito de radio de 10 mm, inferiores a 400 dB/m para una longitud de onda de 1625 nm, incluso para una longitud de onda de 1675 nm;
- para una longitud de onda de 1550 nm, pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un manguito de 30 mm de radio, inferiores a 10<sup>2</sup> dB;
- para una longitud de onda de 1625 nm, pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un manguito de 30 mm de radio, inferiores a 0,1 dB;
- para una longitud de onda de 1675 nm, pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un manguito de 30 mm de radio, inferiores a 0,5 dB;

- una sensibilidad a microcurvaturas inferior o igual a 1, y de preferencia inferior o igual a 0,8 para una longitud de onda de 1550 nm;

- una atenuación inferior o igual a 0,24 dB/km para una longitud de onda de 1550nm;

- una dispersión modal de polarización inferior o igual a 0,2 ps/km<sup>1/2</sup> y de preferencia inferior o igual a 0,1 ps/km<sup>1/2</sup>, incluso inferior a 0,05 ps/km<sup>1/2</sup>.

5 **[0033]** La limitación propuesta sobre superficie efectiva asegura que los efectos no lineales en la fibra de línea permanecen soportables.

10 **[0034]** La limitación en la longitud de onda de anulación de la dispersión cromática asegura que la dispersión cromática no se anule en el rango de longitudes de onda utilizado, y también limita los efectos no lineales en el rango de longitudes de onda utilizado en el sistema de transmisión.

15 **[0035]** La limitación en las pérdidas por curvatura y las pérdidas por microcurvatura, en particular, permiten a la fibra presentar un comportamiento satisfactorio cuando se integra en un cable. Estas limitaciones son representativas de la capacidad de cableado de la fibra. La sensibilidad a curvatura se evalúa midiendo la atenuación lineal causada por arrollamiento de la fibra alrededor de un manguito de 10 mm de radio. La sensibilidad a microcurvatura se mide de manera conocida per se; se puede como más adelante, medirla con respecto a una fibra tal como la fibra comercializada por la solicitante bajo la referencia ASMF 200. Estas limitaciones son respetadas de preferencia en todo el rango de longitudes de onda utilizadas en el sistema de transmisión.

**[0036]** La limitación en la atenuación limita las pérdidas en la fibra.

20 **[0037]** La fibra presenta adicionalmente de manera ventajosa una dispersión modal de polarización inferior o igual a 0,2 ps/km<sup>1/2</sup>, y preferiblemente inferior o igual a 0,1 ps/km<sup>1/2</sup>, incluso inferior o igual a 0,05 ps/km<sup>1/2</sup>; este valor de dispersión modal de polarización asegura una buena transmisión para tasas elevadas y se mide en la proximidad de una longitud de onda de 1550 nm.

25 **[0038]** Los valores propuestos se miden en la proximidad de 1550 nm. Debido a la pequeña pendiente de dispersión cromática, la dispersión cromática así como el diámetro modal y la superficie efectiva son sustancialmente idénticos para todo el rango de longitudes de onda utilizado.

**[0039]** Ahora se proporcionan ejemplos de fibra que cumplen estas diferentes características, que tiene como perfil un en trapecio o en rectángulo y anillo.

30 **[0040]** La fibra puede presentar el perfil de la figura 2, con los valores dados en la tabla de más adelante. El perfil de la figura 2 es un perfil de índice de referencia del tipo en trapecio, con una zanja enterrada y un anillo que a partir del centro de la fibra presenta:

- Una porción central con un índice de refracción sustancialmente constante, superior o igual al índice del revestimiento;

35 - Una porción con un índice decreciente sustancialmente lineal desde el índice sustancialmente constante superior o igual al índice del revestimiento hasta a un índice inferior o igual al índice del revestimiento;

- Una porción anular que presenta un índice sustancialmente constante con un valor de índice inferior o igual al índice del revestimiento, constituyendo el conjunto un perfil de índice llamado "en trapecio con una zanja enterrada o deprimida".

40 **[0041]** 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 en trapecio con una zanja enterrada y un anillo.

**[0042]** Asimismo, podrá preverse un perfil en rectángulo con una zanja enterrada y un anillo, respecto del perfil en trapecio y anillo, la fibra presenta entonces:

- Una porción central con un índice sustancialmente constante superior o igual al índice del revestimiento;

45 - Una porción anular que presenta un índice sustancialmente constante con un valor de índice inferior o igual al índice del revestimiento;

constituyendo el conjunto un perfil de índice denominado "en rectángulo con una zanja enterrada o deprimida", que está rodeado por un anillo.

50 **[0043]** En lo siguiente se denota con  $\Delta n_1$  la diferencia entre el índice de la porción central y el índice del revestimiento de fibra,  $\Delta n_2$  la diferencia entre el índice de zanja enterrada y el índice del revestimiento de la fibra y  $\Delta n_3$  la diferencia entre el índice del anillo y el índice del revestimiento de la fibra. Como se explicó anteriormente,  $\Delta n_1$   $\Delta n_3$  tienen un valor positivo, mientras que  $\Delta n_2$  tiene un valor negativo.

55 **[0044]** Se denota con  $r_{1a}$  el radio exterior de la parte central de índice sustancialmente constante,  $r_{1b}$  el radio interior de la zanja enterrada y  $r_1$  el radio de la porción central de la fibra que presenta un índice superior al índice del revestimiento; en el caso de un perfil en rectángulo,  $r_1$  es el radio de la porción central en rectángulo. También puede llamarse "base menor del trapecio" la parte central de radio  $r_{1a}$  y de índice constante superior al índice del revestimiento. La "base mayor del trapecio" corresponde al radio  $r_{1b}$  en la figura, que se extiende hasta el radio interior de la zanja enterrada.

**[0045]** Ejemplos de fibras que tienen este perfil se indican en la tabla siguiente, con las anotaciones especificadas anteriormente.

60

65

Tabla 1

	$r_{1a}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_{1b}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	$10^3 \Delta n_1$	$10^3 \Delta n_2$	$10^3 \Delta n_3$
1	3,337	3,41	3,44	6,09	9,73	7,7	-4,5	3,0
2	3,28	3,28	3,28	6,82	8,93	8,0	-4,5	5,1
3	2,51	3,38	4,19	5,86	8,65	8,5	-7,9	3,5
4	3,28	3,28	3,28	7,10	9,25	8,1	-4,9	4,6
5	3,16	3,46	3,63	7,09	10,23	7,5	-4,2	3,1
6	3,28	3,28	3,28	6,73	8,74	8,0	-7,0	5,7
7	2,87	3,36	3,81	6,08	8,87	8,8	-8,0	3,8
8	3,14	3,14	3,14	7,00	8,90	7,6	-7,0	5,4
9	2,93	3,20	3,43	6,68	9,63	9,0	-7,6	3,2

5 **[0046]** En la tabla, los perfiles pares son perfiles en rectángulo, y los perfiles impares perfiles en trapecio. Desde el punto de vista del perfil, las dimensiones de la fibra pueden ser seleccionadas utilizando una o más de las desigualdades que figuran a continuación, por una parte, en cuanto a la parte central de trapecio, son ventajosamente:

10 -  $5,7 \cdot 10^{-3} \leq \Delta n_1 \leq 9 \cdot 10^{-3}$ , y  
 -  $2,8 \leq r_1 \leq 4,2 \mu\text{m}$ .

15 **[0047]** La pendiente de los flancos del trapecio se elige de manera ventajosa de modo que la relación de radios de  $r_{1a}$  y  $r_{1b}$  está comprendida entre 0,55 y 1, el valor límite de 1 corresponde de hecho a un perfil en "rectángulo" con anillo, como los ejemplos pares de la tabla.

**[0048]** Para la zanja enterrada, se pueden elegir los valores de diferencia de índice  $\Delta n_2$  y de radio exterior  $r_2$ , de modo que se verifique:

20 -  $-9 \cdot 10^{-3} = \Delta n_2 = -2,5 \cdot 10^{-3}$ ,  
 -  $5,6 = r_2 = 7,9 \mu\text{m}$ ,

**[0049]** Para el anillo, se pueden elegir los valores de diferencia de índice  $\Delta n_3$  y de radio exterior  $r$ , de manera que se verifique:

25 -  $1 \cdot 10^{-3} = \Delta n_3 = 5,7 \cdot 10^{-3}$ ,  
 -  $7,8 = r_3 = 10,5 \mu\text{m}$ ,

**[0050]** Son posibles otras caracterizaciones de la fibra. Así, se puede utilizar el parámetro  $S_{01}$  definido por

30 
$$S_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr$$

Este parámetro es homogéneo al producto de un radio por un índice. Este parámetro se aplica tanto al perfil en trapecio como al rectángulo, y es representativo del aumento de índice en la proximidad del núcleo de la fibra y siendo de preferencia superior a  $23 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ .

35 **[0051]** El parámetro  $S_1$  definido por

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

40 es homogéneo al producto del cuadrado de un radio por un índice. Este parámetro se aplica tanto al perfil en trapecio como al perfil en rectángulo, y es representativo del aumento del índice en la proximidad del núcleo de la fibra. En el caso de un perfil de índice en rectángulo, tiene un valor de  $\Delta n_1 \cdot r_1^2$ , estando comprendido de preferencia entre  $65 \cdot 10^{-3}$  y  $90 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

**[0052]** Otro parámetro posible es el parámetro  $S_{11}$ , escrito como

45 
$$S_{11} = 3 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r^2 \cdot dr$$

Este parámetro homogéneo al producto de un radio al cubo por un índice. Físicamente, este parámetro es representativo de la correspondencia entre un perfil en rectángulo y un perfil en trapecio, en la teoría de fibras equivalentes y está preferiblemente comprendido entre  $180 \cdot 10^{-3}$  y  $305 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^3$ .

50 **[0053]** Puede aún utilizarse el parámetro  $S_{02}$  definido por

$$S_{02} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) \cdot dr$$

5 Este parámetro sigue siendo homogéneo al producto de un rayo por un índice. Este parámetro es representativo de la disminución de índice en la zanja enterrada. De acuerdo con la invención, está comprendido entre  $-27 \cdot 10^{-3}$  y  $-12 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ .

**[0054]** Incluso, el parámetro  $S_{03}$  definido por

$$S_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr$$

10 es homogéneo al producto de un radio por un índice, es representativo del aumento de índice en el anillo y está comprendido de preferencia entre  $4 \cdot 10^{-3}$  y  $12 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ .

**[0055]** El parámetro  $S_{02}$  o la combinación de  $S_{02}$  y varios de estos parámetros, permite definir el perfil de la fibra de la invención.

**[0056]** Las fibras de la tabla 1, presentan las características de propagación indicadas en la tabla 2

15

Tabla 2

	$\lambda_{dh}$	$\lambda_0$	$2W_{02} \mu\text{m}$	$C'$ ps/nm <sup>2</sup> -km (1550 nm)	$S_{eff} \times C'/C'$ $\mu\text{m}^2$ -nm (1550 nm)	$S_{\mu C}$ (1550 nm)
1	1820	1385	7,72	0,0130	13580	< 0,5
2	1795	1350	7,34	0,0041	51390	< 0,6
3	1695	1360	7,03	-0,0063	-18710	< 0,6
4	1785	1315	7,42	0,0110	32360	< 0,5
5	1840	1325	7,50	0,0095	36230	< 0,8
6	1795	1295	7,00	0,0006	585200	< 0,5
7	1785	1305	6,76	-0,0004	-730750	< 0,5
8	1795	1280	7,14	0,0134	37560	< 0,5
9	1805	1285	6,45	0,0097	40530	< 0,5



Tabla 3

	$S_{ref}$ $\mu\text{m}^2$ (1460 nm)	$S_{ref}$ $\mu\text{m}^2$ (1550 nm)	$S_{ref}$ $\mu\text{m}^2$ (1625 nm)	$S_{ref}$ $\mu\text{m}^2$ (1675 nm)	C ps/nm- km (1460 nm)	C ps/nm- km (1550 nm)	C ps/nm- km (1625 nm)	C ps/nm- km (1675 nm)	PC 10mm dB/m (1550 nm)	PC 10mm dB/m (1625 nm)	PC 10mm dB/m (1675 nm)	PC 30mm dB/m (1550 nm)	PC 30mm dB/m (1625 nm)	PC 30mm dB/m (1675 nm)
1	42,1	47,7	54,2	59,8	2,2	3,7	4,7	5,5	< 10	< 50	< 150	< 10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-3</sup>
2	38,5	43	48,3	52,9	3,8	4,9	4,9	4,7	< 10	< 100	< 200	< 10 <sup>-5</sup>	< 5.10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-2</sup>
3	35,1	39,6	44,3	48,7	2,7	3	2,1	1,3	< 20	< 100	< 250	< 10 <sup>-4</sup>	< 10 <sup>-2</sup>	< 10 <sup>-1</sup>
4	36,6	40	43,8	47,1	7	8,9	9,1	8,7	< 10	< 50	< 150	< 10 <sup>-5</sup>	< 10 <sup>-2</sup>	< 5.10 <sup>-2</sup>
5	40,4	44,7	49,6	54	6	7,7	7,9	7,6	< 20	< 100	< 250	< 10 <sup>-4</sup>	< 10 <sup>-2</sup>	< 10 <sup>-1</sup>
6	36,6	39,9	43,9	47,3	7,7	8,8	8,1	7,0	< 10	< 50	< 200	< 10 <sup>-5</sup>	< 5.10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-2</sup>
7	33,9	37	40,5	43,6	6,9	7,9	7,2	6,1	< 10	< 50	< 100	< 10 <sup>-5</sup>	< 5.10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-3</sup>
8	38,6	41,6	45	47,9	10	12,1	12,4	12	< 10	< 50	< 150	< 10 <sup>-5</sup>	< 5.10 <sup>-3</sup>	< 10 <sup>-2</sup>
9	31,3	33,6	36,1	38,2	9,8	11,7	11,5	10,2	< 10	< 50	< 100	< 10 <sup>-5</sup>	< 10 <sup>-3</sup>	< 5.10 <sup>-2</sup>

- 5 [0057] En estas tablas,  $\lambda_{dh}$  es la longitud de onda de corte teórico 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 entiende que la fibra es efectivamente de modo único en el rango de longitudes de onda de señales útiles, en particular, en las bandas S y C.  $2W_{02}$  es el diámetro modal en micrómetros;  $S_{eff}$  es la superficie efectiva, en micrómetros cuadrados.  $\lambda_0$  es en nm la longitud de onda para la cual la dispersión cromática es nula. C es la dispersión cromática expresada 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/(nm<sup>2</sup>.km), midiéndose estos diversos parámetros a 1550 nm. PC10mm representa las pérdidas por curvatura por unidad de longitud, medidas para un manguito de 10 mm de radio y se expresa en dB/m, y PC30mm representa las pérdidas por curvatura para 100 vueltas de fibra alrededor de un manguito de 30 mm de radio y se expresa dB. Finalmente,  $S_{\mu c}$  es un coeficiente adimensional, que representa la sensibilidad de la fibra a microcurvaturas, este coeficiente en la tabla se mide a 1550 nm en relación a una fibra de la técnica anterior comercializada por la solicitante bajo la denominación ASMF 200. Este coeficiente puede ser medido por el método de recalado de la fibra entre dos rejillas, conocido per se.
- 10 [0058] Las tablas 2 y 3 muestran que las fibras de la tabla 1 presentan características de propagación - dispersión cromática, pendiente de dispersión cromática - que permiten su utilización como fibra de línea en un sistema de transmisión por fibra óptica. En todos los ejemplos de la tabla 1, variaciones del 5% del índice  $\Delta n_1$ , o del 10% de los índices  $\Delta n_2$ ,  $\Delta n_3$  permiten obtener resultados similares. De igual manera los radios, que pueden variar del 10% para  $r_1$  y  $r_2$  y del 5% para  $r_3$  respecto de los valores dados en los ejemplos, para obtener resultados análogos.
- 15 [0059] Más específicamente, las fibras de las tablas verifican de manera ventajosa una o más de las siguientes limitaciones:
- 20 - Una variación de la dispersión cromática entre 1460 y 1625 nm, con respecto a su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 35%, y preferiblemente inferior o igual al 25% o incluso inferior o igual al 20%;
- 25 - Una variación en la dispersión cromática entre 1460 y 1675 nm, con respecto a su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 40%, y preferiblemente inferior o igual al 35% o incluso inferior o igual al 25%;
- 30 - Una variación de la dispersión cromática entre 1460 y 1625 nm, con respecto a su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a 2 ps/(nm.km), y preferiblemente inferior o igual a 1 ps/(nm.km);
- 35 - Una variación de la dispersión cromática entre 1460 y 1675 nm, con respecto a su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a 3ps/(nm.km), y preferiblemente inferior o igual a 2 ps/(nm.km);
- 40 - Para una longitud de onda de 1550 nm, una dispersión cromática C de entre 5 y 11 ps/(nm.km);
- 45 - Para una longitud de onda de 1550 nm, una pendiente de dispersión cromática  $C'$  inferior o igual en valor absoluto a 0,012 ps/(nm<sup>2</sup>.km) y preferiblemente inferior a 0,010 ps/(nm<sup>2</sup>.km);
- 50 - Para una longitud de onda de 1550 nm, un producto entre la superficie efectiva y la relación entre la dispersión cromática y la pendiente de la dispersión cromática superior en valor absoluto a 12000  $\mu\text{m}^2$ .nm.
- 55 [0060] Estos diferentes parámetros tienen los efectos siguientes: las variaciones de la dispersión cromática con respecto al valor a 1550 nm, permiten una utilización amplia banda de la fibra. El rango de la dispersión cromática corresponde óptimamente para la utilización de la fibra en sistemas de transmisión. Las ventajas de la limitación sobre la pendiente de dispersión cromática se han descrito anteriormente. El producto  $S_{eff}.C/C'$ , entre la superficie efectiva y la relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática es un compromiso; la relación  $S_{eff}/C'$  de la superficie efectiva y la pendiente de dispersión cromática debe ser tan grande como posible – la superficie efectiva es lo más grande posible y la pendiente de dispersión cromática lo más baja posible. Ponderar esta relación  $S_{eff}/C'$ , multiplicándola por la dispersión cromática, permite tener en cuenta que es más fácil aumentar la relación de  $S_{eff}/C'$  para valores pequeños de C, pero que bajos valores de C puede ser desventajosos.
- 60 [0061] Las figuras 3 y 4 muestran, en diferentes escalas, una gráfica de la dispersión cromática en función de la longitud de onda para fibras conocidas y fibras de acuerdo con la invención, representándose en el eje de abscisas la longitud de onda en  $\mu\text{m}$ , y en ordenadas la dispersión cromática en ps/(nm.km). Cada gráfica muestra los valores de dispersión cromática para:
- la fibra descrita en FR-A 2790107 y comercializada bajo la referencia TeraLight, curva n° 1;
- la fibra que presenta el perfil 4 de la anterior tabla 1, curva n° 2.
- [0062] La gráfica de la figura 3 muestra los valores de dispersión cromática para las longitudes de onda de 1200 a 1700 nm. La gráfica de la figura 4 muestra los valores de dispersión cromática para las longitudes de onda de 1450 a 1675 nm, es decir en un rango de utilización de la fibra de la invención. Estas gráficas muestran que las fibras de las tablas presentan en la superficie útil una dispersión cromática más plana que las fibras precedentes. La variación cromática de dispersión con respecto a su valor a 1550 nm para fibra 4 entre 1460 y 1675 nm es como máximo del -21% y el +2%. A título de comparación, la variación correspondiente para la fibra TeraLight es del -66% al +90%. Se observará sin embargo que todas estas fibras presentan una dispersión cromática próxima para 1550 nm.
- [0063] Un sistema de transmisión con la fibra de la invención, por tanto, puede presentar un rango de utilización entre longitudes de onda de 1460 y 1625 nm, preferiblemente entre longitudes de onda de 1460 y 1675 nm, incluso entre longitudes entre longitudes de onda de 1300 y 1700 nm.
- [0064] Naturalmente, la presente invención no se limita a los ejemplos y formas de realización descritas e ilustradas, sino que es capaz de numerosas variantes accesibles para los expertos en la técnica. Así, se podrían utilizar otros perfiles que los propuestos en los ejemplos de la figura 2, u otras configuraciones de sistemas que las de la figura 1.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Fibra óptica de modo único en cable en un rango de longitud de onda 1300 a 1700 nm que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión cromática C comprendida entre 3 y 14 ps/(nm.km) que presenta sólo, sucesivamente desde el centro de la fibra a la periferia, un perfil de índice en trapecio o en rectángulo con una zanja enterrada y un anillo y luego un revestimiento de índice constante, estando comprendida la diferencia ( $\Delta n_1$ ) entre el índice máximo del trapecio o del rectángulo y el índice del revestimiento entre  $5,7 \times 10^{-3}$  y  $9 \times 10^{-3}$  y estando comprendido el radio ( $r_1$ ) de la porción de fibra que tiene un índice superior al índice del revestimiento entre 2,8 y 4,2  $\mu\text{m}$ ,
- 10 estando comprendida la diferencia ( $\Delta n_2$ ) entre el índice de la zanja enterrada y el índice del revestimiento entre  $-9 \times 10^{-3}$  y  $-2,5 \times 10^{-3}$  y estando comprendido el radio exterior ( $r_2$ ) de la zanja enterrada entre 5,6 y 7,9  $\mu\text{m}$ , estando comprendida la diferencia ( $\Delta n_3$ ) entre el índice del anillo y el índice del revestimiento entre  $1 \times 10^{-3}$  y  $5,7 \times 10^{-3}$  y estando comprendido el radio exterior ( $r_3$ ) del anillo entre 7,8 y 10,5  $\mu\text{m}$ ,
- 15 estando comprendido el valor de la integral de la diferencia ( $\Delta n_2$ ) entre el índice de la zanja enterrada y el índice del revestimiento entre el radio exterior ( $r_1$ ) de la porción de fibra con un índice superior al índice del revestimiento y el radio exterior ( $r_2$ ) de la zanja enterrada entre  $-27 \times 10^{-3}$  y  $-12 \times 10^{-3}$   $\mu\text{m}$ , y siendo los radios ( $r_1, r_2, r_3$ ) y las diferencias ( $\Delta n_1; \Delta n_2; \Delta n_3$ ) entre los índices de la porción de la fibra con un índice superior al índice del revestimiento, la zanja enterrada y el anillo en relación con el índice del revestimiento, tales que la fibra óptica de modo único en cable presenta, para una longitud de onda de 1550 nm, una pendiente de dispersión cromática C' inferior en valor absoluto a 0,014 ps/ (nm<sup>2</sup>.km ) y una superficie efectiva superior o igual a 35  $\mu\text{m}^2$  y para una longitud de onda de 1625 nm, pérdidas por curvatura, medidas para un radio de 10 mm, inferiores a 400 dB/km .
- 25 2. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 1, en la que la relación entre el radio interior ( $r_{1a}$ ) y el radio exterior ( $r_{1b}$ ) de la porción anular del trapecio que presenta un índice decreciente, está comprendida entre 0,55 y 1.
- 30 3. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 1 o 2, en la que el valor de la integral de la diferencia ( $\Delta n_1$ ) del índice de la porción de la fibra óptica que presenta un índice superior al índice del revestimiento y el índice del revestimiento entre un radio cero y el radio ( $r_1$ ) exterior de la porción de la fibra óptica que presenta un índice superior al índice del revestimiento, es superior a  $23 \cdot 10^{-3}$   $\mu\text{m}$ .
- 35 4. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 3, en la que el valor de la doble integral del producto de la diferencia ( $\Delta n_1$ ) entre el índice de la porción de la fibra que presenta un índice superior al índice del revestimiento y el índice del revestimiento por el radio, entre un radio cero y el radio ( $r_1$ ) exterior de la porción de la fibra óptica que presenta un índice superior al índice del revestimiento, está comprendido entre  $65 \cdot 10^{-3}$  y  $90 \cdot 10^{-3}$   $\mu\text{m}^2$ .
- 40 5. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el valor de la triple integral del producto de la diferencia ( $\Delta n_1$ ) entre el índice de la porción de fibra óptica que presenta un índice superior al índice del revestimiento y el índice del revestimiento por el cuadrado del radio, entre un radio nulo y el radio ( $r_1$ ) de la porción de fibra óptica que presenta un índice superior al índice del revestimiento, está comprendido entre  $180 \cdot 10^{-3}$  y  $305 \cdot 10^{-3}$   $\mu\text{m}^3$ .
- 45 6. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el valor de la integral de la diferencia ( $\Delta n_3$ ) entre el índice del anillo y el índice del revestimiento, entre el radio exterior ( $r_2$ ) de la trinchera deprimida y el radio ( $r_3$ ) exterior del anillo, está comprendido entre  $4 \cdot 10^{-3}$  y  $12 \cdot 10^{-3}$   $\mu\text{m}$ .
- 50 7. Fibra óptica de modo único de la reivindicación 1, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una superficie efectiva superior o igual a 40  $\mu\text{m}^2$ .
- 55 8. Fibra óptica de modo único de una de las reivindicaciones 1 a 7, que presenta una longitud de onda  $\lambda_0$  de anulación de la dispersión cromática inferior o igual a 1400 nm.
9. Fibra óptica de modo único de una de las reivindicaciones 1 a 8, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta un diámetro modal  $2 W_{02}$  superior o igual a 6,4  $\mu\text{m}$ .
10. Fibra óptica de modo único de una de las reivindicaciones 1 a 9, que para una longitud de onda de 1500 nm, presenta pérdidas por curvatura, medidas para un radio de 10 mm, inferiores a 100 dB/m.
- 60 11. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 9, que para una longitud de onda de 1675 nm, presenta pérdidas por curvatura, medidas para un radio de 10 mm, inferiores a 400 dB/m.
- 65 12. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 11, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un maguito de 30 mm, inferiores a  $10^{-2}$  dB.

## ES 2 456 048 T3

13. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 12, que para una longitud de onda de 1625 nm, presenta pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un maguito de 30 mm, inferiores a 0,1 dB.
- 5 14. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 13, que para una longitud de onda de 1675 nm, presenta pérdidas por curvatura, medidas para 100 vueltas de fibra alrededor de un maguito de 30 mm, inferiores a 0,5 dB.
- 10 15. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 14, que presenta una longitud de onda de corte teórico inferior o igual a 1850 nm.
16. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 15, que presenta una longitud de onda de corte teórico inferior o igual a 1800 nm.
- 15 17. Fibra óptica de modo único de una de las reivindicaciones 1 a 16, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1625 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 35%
18. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 17, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1625 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 25%
- 20 19. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 18, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1625 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 20%.
- 25 20. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 19, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1675 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 40%.
21. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 20, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1675 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 35%.
- 30 22. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 19, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1675 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto al 25%.
23. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 22, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1625 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a 2 ps/(nm.km).
- 35 24. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 23, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1625 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a 1 ps/(nm.km).
- 40 25. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones 1 a 24, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1675 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a 3 ps/(nm.km).
- 45 26. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 25, que presenta una variación de dispersión cromática entre 1460 nm y 1675 nm, respecto de su valor para 1550 nm, inferior o igual en valor absoluto a 2 ps/(nm.km).
27. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones a 1 a 26, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión cromática C que está comprendida entre 5 y 11 ps/(nm.km).
- 50 28. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones a 1 a 27, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una pendiente de dispersión cromática C' inferior o igual en valor absoluto a 0,012 ps/(nm<sup>2</sup>.km).
29. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 28, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una pendiente de dispersión cromática C' inferior en valor absoluto a 0,010 ps/(nm<sup>2</sup>.km).
- 55 30. Fibra óptica de modo único en cable de una de las reivindicaciones a 1 a 29, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta un producto entre la superficie efectiva y la relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática superior en valor absoluto a 12000 μm<sup>2</sup>.nm.
- 60 31. Fibra óptica de modo único en cable de una de la reivindicaciones 1 a 30, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una sensibilidad a micro-curvatura inferior o igual a 1.
32. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 31, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una sensibilidad a micro-curvatura inferior o igual a 0,8.
- 65

## ES 2 456 048 T3

33. Fibra óptica de modo único en cable de una de la reivindicaciones 1 a 32, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una atenuación inferior o igual a 0,24 dB/km.
- 5 34. Fibra óptica de modo único en cable de una de la reivindicaciones 1 a 33, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión modal de polarización inferior o igual a  $0,2 \text{ ps/km}^{1/2}$ .
35. Fibra óptica de modo único en cable de la reivindicación 34, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión modal de polarización inferior o igual a  $0,05 \text{ ps/km}^{1/2}$ .
- 10 36. Sistema de transmisión con multiplexación por división de longitud de onda, que como fibra de línea comprende la fibra según una de las reivindicaciones 1 a 35.
- 15 37. Sistema de transmisión de la reivindicación 36 que como fibra de línea comporta adicionalmente una fibra que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión cromática positiva no nula y una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática comprendida entre 50 y 400 nm.
- 20 38. Sistema de la reivindicación 37 en el que la longitud de la fibra según una de las reivindicaciones 1 a 35 es superior o igual a la longitud de la fibra que presenta una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática comprendida entre 50 y 400 nm.
- 25 39. Sistema de la reivindicación 37 o 38 que comprende adicionalmente una fibra de compensación de dispersión que, para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una relación entre la dispersión cromática y la pendiente de dispersión cromática superior o igual a 250 nm.
40. Sistema de transmisión de una de las reivindicaciones 36 a 39, que presenta un rango de utilización comprendido entre las longitudes de onda de 1460 y 1625 nm, y de preferencia entre las longitudes de onda de 1460 y 1675 nm, incluso entre las longitudes de onda de 1300 y 1700 nm.

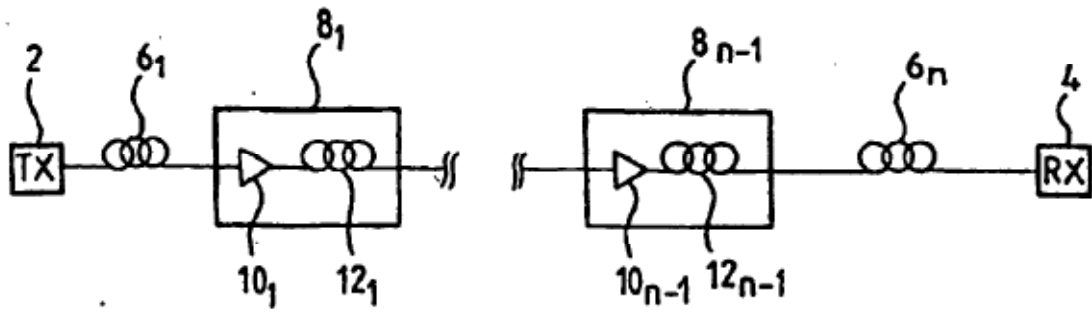


FIG. 1

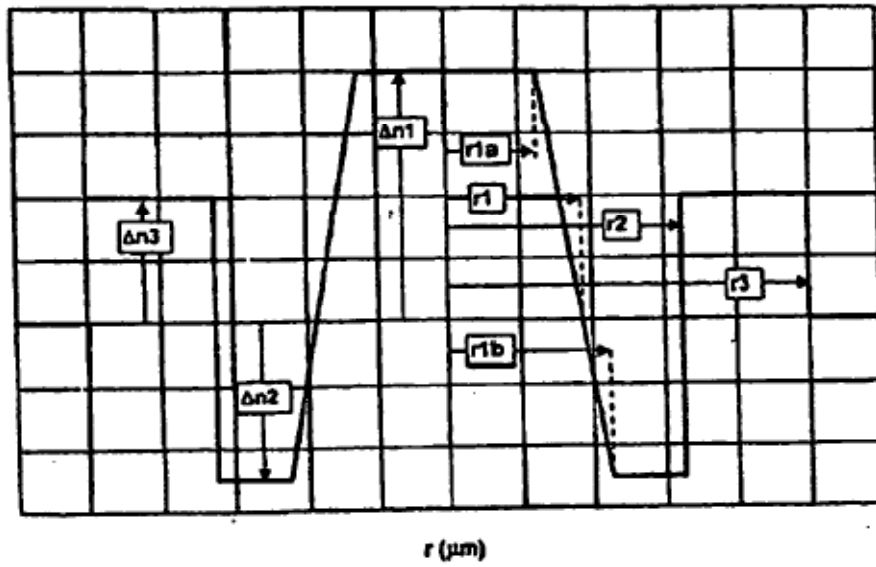


FIG. 2

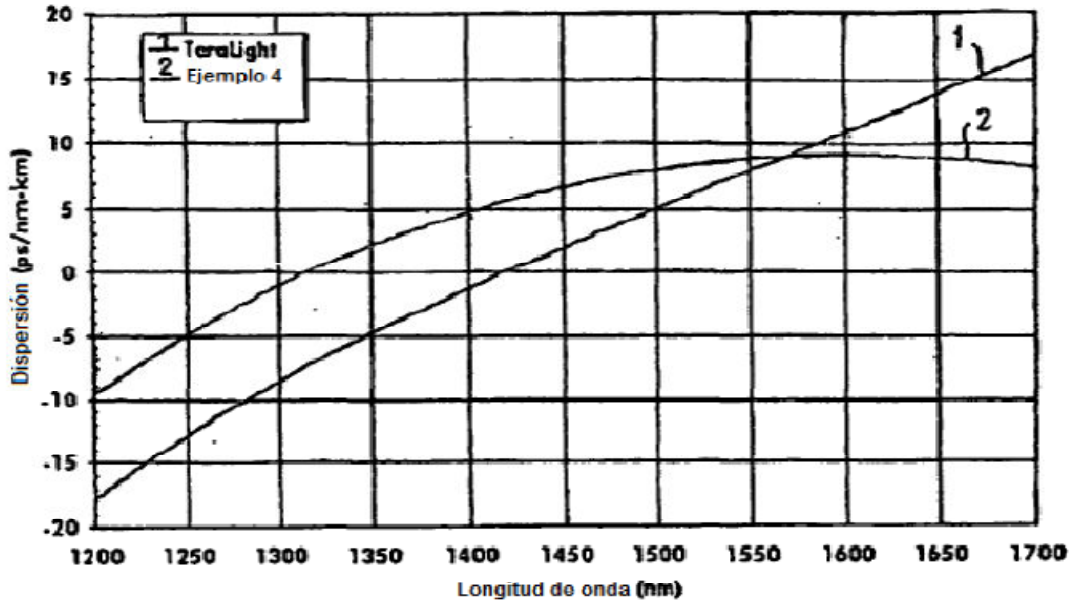


FIG. 3

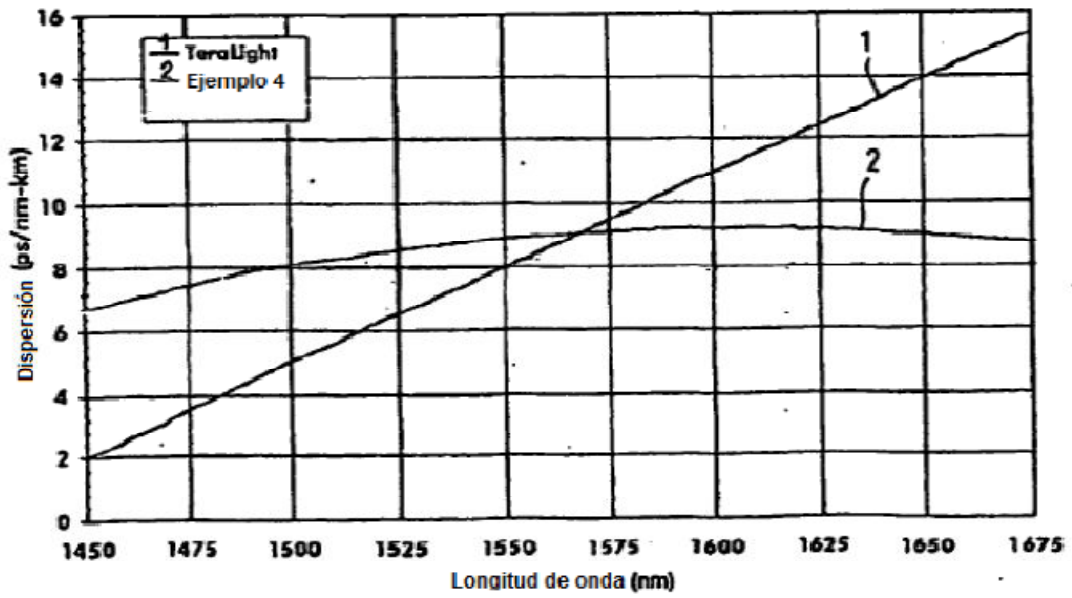


FIG. 4

**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 2790107 A [0006] [0026] [0061]
- EP 1030199 A [0006]
- FR 0002316 [0007]
- EP 1128196 A [0007]
- EP 1018656 A [0008]
- EP 1081514 A [0009]
- FR 2795828 A [0026]

10