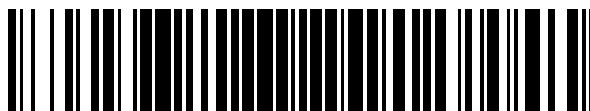


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 531**

51 Int. Cl.:
G02B 6/036 (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09006117 .7**
96 Fecha de presentación: **05.05.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2116877**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.11.2009**

54 Título: **Fibra óptica monomodo**

30 Prioridad:
06.05.2008 FR 0802503
06.11.2008 US 112006 P
07.11.2008 US 112374 P
30.09.2008 US 101337 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.03.2012

73 Titular/es:
DRAKA COMTEQ B.V.
DE BOELELAAN 7
1083 HJ AMSTERDAM, NL

72 Inventor/es:
De Montmorillon, Louis-Anne;
Richard, Simon;
Molin, Denis;
Bigot-Astruc, Marianne;
Sillard, Pierre y
Boivin, David

74 Agente/Representante:
Arpe Fernández, Manuel

ES 2 377 531 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 monomodo

Campo de la invención

5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de las transmisiones por fibra óptica, y más concretamente, a una fibra con unas pérdidas por flexión enormemente reducidas.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 **[0002]** En las fibras ópticas, el perfil de índice de refracción suele establecerse en función de la diferencia de valores entre dos puntos del gráfico de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra. Normalmente, la distancia r hasta el centro de la fibra se muestra a lo largo del eje x del perfil. La diferencia entre el índice de refracción a la distancia r y el índice de refracción del revestimiento exterior de la fibra se muestra a lo largo del eje y (figura 2, referencias 21-24). El revestimiento exterior funciona como un revestimiento óptico y posee un índice de refracción sustancialmente constante; este revestimiento óptico suele estar compuesto de sílice puro, pero también puede contener uno o más dopantes. El perfil del índice de refracción de la fibra óptica suele denominarse un perfil "escalonado", un perfil "trapezoidal" o un perfil "triangular", debido a los gráficos, que adoptan respectivamente la forma de un escalón, un trapecioide o un triángulo. Por lo general, estas curvas representan el perfil de índice teórico o de referencia (es decir, el perfil prefijado) de la fibra. Las limitaciones relativas a la fabricación de la fibra pueden generar un perfil ligeramente diferente en la fibra real.

15 **[0003]** Convencionalmente, una fibra óptica está compuesta por (i) un núcleo óptico, cuya función consiste en transmitir, y opcionalmente, amplificar una señal óptica, y (ii) un revestimiento óptico, cuya función consiste en confinar al núcleo la señal óptica. Con esta finalidad, los índices de refracción del núcleo (n_c) y del revestimiento (n_g) son tales que $n_c > n_g$. Como es bien conocido en la técnica, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica monomodo se divide entre un modo fundamental (conocido como LP01), guiado en el núcleo, y unos modos secundarios guiados a lo largo de un radio determinado en el conjunto formado por núcleo y revestimiento.

20 **[0004]** Convencionalmente, las fibras con índice escalonado, también denominadas fibras SMF ("Fibras monomodo") se utilizan como fibras de línea para los sistemas de transmisión de fibra óptica. Estas fibras presentan una dispersión cromática y un gradiente de dispersión cromática que se corresponden con unas recomendaciones de telecomunicaciones específicas.

25 **[0005]** En lo que respecta a los requisitos de compatibilidad entre los sistemas ópticos de los diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha definido una recomendación con una norma, denominada ITU-T G.652, que debe ser cumplida por las fibras monomodo estándar (SSMF).

30 **[0006]** Esta recomendación G.652 para fibras utilizadas en transmisiones recomienda, entre otras cosas, un rango nominal de 8,6 micras a 9,5 micras para el diámetro de campo de modo (MFD) para una longitud de onda de 1310 nanómetros, que puede variar en +/- 0,4 μm debido a las tolerancias de fabricación; un máximo de 1260 nanómetros para la longitud de onda de corte del cable; un rango de 1300 nanómetros a 1324 nanómetros para la longitud de onda de cancelación de dispersión (indicada como λ_0) ; y un gradiente máximo de dispersión cromática de 0,092 ps/(nm²/km).

35 **[0007]** La longitud de onda de corte del cable se mide convencionalmente como la longitud de onda para la cual la señal óptica deja de ser monomodo tras su propagación a lo largo de 22 metros de fibra, de acuerdo con lo definido por el Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44.

40 **[0008]** En la mayoría de los casos, el modo secundario que presenta una mayor resistencia a las pérdidas por flexión es el modo LP11. Por lo tanto, la longitud de onda de corte del cable es la longitud de onda más allá de la cual el modo LP11 se ha debilitado lo suficiente tras la propagación a lo largo de 22 metros de fibra. El método propuesto por la norma presupone tener en cuenta que la señal óptica es monomodo cuando la atenuación del modo LP11 es mayor o igual a 19,3 dB.

45 **[0009]** Además, para una fibra dada, se define el denominado valor MAC como la relación entre el diámetro de campo de modo de la fibra a 1550 nanómetros a lo largo de la longitud de onda de corte efectiva λ_{ceff} . La longitud de onda de corte se mide convencionalmente como la longitud de onda para la cual la señal óptica deja de ser monomodo tras su propagación a lo largo de dos metros de fibra, según lo definido por el Subcomité 86^a de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44. El MAC constituye un parámetro para evaluar el rendimiento de la fibra, sobre todo a la hora de hallar un compromiso entre el diámetro de campo de modo, la longitud de onda de corte efectiva y las pérdidas por flexión.

50 **[0010]** La solicitud de patente europea N° 1.845.399 y la solicitud de patente europea N° 1.785.754 ilustran los resultados experimentales del solicitante. Esas solicitudes anteriores establecen una relación entre el valor del MAC para una longitud de onda de 1550 nanómetros y las pérdidas por flexión que se producen para una longitud de onda de 1625 nanómetros, con un radio de curvatura de 15 mm en una fibra estándar SSMF de índice en escalón.

Cada una de estas solicitudes de patente europea queda incorporada por referencia en su totalidad al presente documento. Asimismo, cada solicitud establece que el valor del MAC influye en las pérdidas por flexión sufridas por la fibra, y que la reducción del MAC reduce dichas pérdidas por flexión. La reducción del diámetro de campo de modo y/o el aumento de la longitud de onda de corte efectiva reduce el valor MAC, pero puede conllevar un incumplimiento de la recomendación G.652, lo que haría que la fibra fuese comercialmente incompatible con algunos sistemas de transmisión.

[0011] La reducción de las pérdidas por flexión, conservando al mismo tiempo algunos parámetros de transmisión óptica, constituye un reto para las aplicaciones de fibras previstas para su uso en sistemas de fibra óptica para usuarios, denominados FTTH, o fibra doméstica.

[0012] La Unión Internacional de Telecomunicaciones, la ITU, también ha definido unas recomendaciones a las que se han asignado las referencias ITU-T G.657A e ITU-G657B, y que deben ser satisfechas por las fibras ópticas previstas para su uso en aplicaciones FTTH, especialmente en lo tocante a la resistencia a las pérdidas por flexión. La recomendación G.657A impone unos límites a los valores de pérdidas por flexión, pero sobre todo trata de preservar la compatibilidad con la recomendación G.652, especialmente en lo que se refiere al diámetro de campo de modo MFD y la dispersión cromática. Por otra parte, la recomendación G.657B impone unos estrictos límites de pérdidas por flexión, especialmente en lo que se refiere a (i) pérdidas por flexión inferiores a 0,003 db/vuelta para una longitud de onda de 1550 nanómetros para un radio de curvatura de 15 milímetros, y (ii) pérdidas por flexión inferiores a 0,01 db/vuelta para una longitud de onda de 1625 nanómetros para un radio de curvatura de 15 milímetros.

[0013] La solicitud de patente europea N° 1.845.399 y la solicitud de patente europea N° 1.785.754 proponen unos perfiles de la fibra que tengan unas reducidas pérdidas por flexión, lo que se corresponde, concretamente, con los criterios expuestos en las recomendaciones G.657A y G.657B. No obstante, los perfiles que se proponen en estas patentes europeas permiten conseguir tan sólo los límites de pérdidas por flexión impuestos por la recomendación G.657B.

[0014] La patente estadounidense N° 7.164.835 y la solicitud de patente estadounidense publicada con el número 2007/0147756, las cuales quedan incorporadas en su totalidad al presente documento por referencia, también describen unos perfiles de fibra que presentan limitadas pérdidas por flexión. No obstante, las fibras de estas patentes estadounidenses se corresponden únicamente con los criterios establecidos en las recomendaciones G.657A y G.657B, especialmente en lo tocante al diámetro de campo de modo y la dispersión cromática.

[0015] En la actualidad, y en lo que se refiere a ciertas aplicaciones, la reducción de las pérdidas por flexión resulta esencial, sobre todo cuando se pretende que la fibra se grape o se rebobine en una caja óptica miniaturizada.

[0016] La tecnología de fibra "Hole-assisted" (fibra con agujeros axiales] permite conseguir unos excelentes rendimientos, en lo que se refiere a las pérdidas por flexión, pero esta tecnología resulta compleja y su realización es costosa, por lo que no puede utilizarse con fibras diseñadas para los sistemas FTTH, que son sistemas de bajo coste.

[0017] El solicitante comercializa una fibra insensible a la flexión, que presenta una adecuada resistencia a las pérdidas por flexión, bajo la marca registrada BendBright-XS. Esta gama de fibras cumple plenamente los requisitos de las recomendaciones ITU-T G.652 y G.657B y presenta unas pérdidas por flexión típicas de 0,3 dB/vuelta con un radio de curvatura de 5 mm a 1550 nm. Por lo tanto, se da la necesidad de una fibra óptica que presente una resistencia típica a las pérdidas por flexión que sea claramente mejor para el radio de curvatura de 5 mm que el nivel típico de la fibra comercializada que se ha mencionado anteriormente. Las fibras que cumplan este criterio también deberían seguir cumpliendo plenamente los establecidos por la recomendación G.652 en lo tocante al perfil de transmisión, y más concretamente, el diámetro de campo de modo y el corte del cable. Esta apreciable mejora de las pérdidas por flexión se puede lograr en detrimento de una longitud de onda de corte más elevada, siempre que (i) el modo LP11 de orden directamente superior se encuentre lo suficientemente atenuado, y (ii) que la longitud de fibra necesaria para la atenuación del modo LP11 de forma que alcance 19,3 dB para una longitud de onda de 1260 nanómetros sea inferior a 22 metros, garantizando así que el valor de corte del cable sea inferior o igual a 1260 nm. Las fibras que satisfagan este criterio también deberían cumplir en todo momento los requisitos de la recomendación G. 657B.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0018] Con los fines descritos anteriormente, la invención incluye una fibra con un núcleo central, un revestimiento intermedio, y un canal deprimido rodeado por un revestimiento óptico externo. El perfil de índice de refracción está optimizado para mejorar las pérdidas por flexión en un factor de diez, en comparación con las limitaciones impuestas por la recomendación G.657B, conservando al mismo tiempo un diámetro de campo de modo compatible con la recomendación G.652 y que garantice una suficiente atenuación del modo LP11.

[0019] Concretamente, la superficie del núcleo, así como la superficie y el volumen del canal deprimido están optimizados para mejorar considerablemente las pérdidas por flexión. En el contexto de la invención, la superficie del núcleo o la superficie del canal deprimido no deberían extenderse geoméricamente, sino que deberían

corresponderse con unos valores que tienen en cuenta dos dimensiones: el producto del radio y la diferencia de índices. Igualmente, el volumen del canal deprimido corresponde a un valor que tiene en cuenta tres dimensiones: el producto del cuadrado del radio y la diferencia de índices.

5 **[0020]** Más concretamente, la invención propone una fibra óptica monomodo según la reivindicación 1, comprendiendo, desde el centro hacia la periferia, un núcleo central, un revestimiento intermedio, un canal deprimido, y un revestimiento óptico externo. El núcleo central tiene un radio r_1 y una diferencia de índices positiva Δn_1 con el revestimiento óptico externo. El revestimiento intermedio tiene un radio r_2 y una diferencia de índices positiva Δn_2 con el revestimiento óptico externo. La diferencia Δn_2 es inferior a la diferencia de índices Δn_1 del núcleo. El canal deprimido presenta un radio r_3 y una diferencia de índice negativa Δn_3 con el revestimiento óptico externo. La fibra según la presente invención también se caracteriza porque tiene (i) un diámetro de campo de modo nominal (MFD) de entre 8,6 μm y 9,5 μm para una longitud de onda de 1310 nanómetros, y (ii) unas pérdidas por flexión inferiores a 0,15 Db/ vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros para una longitud de onda de 1550 nanómetros y una longitud de onda de corte del cable inferior o igual a 1260 nm, definida como la longitud de onda a la cual la atenuación del modo LP11 es superior o igual a 19,3 dB tras la propagación a lo largo de veintidós metros de fibra, estando acondicionada la fibra como recta o enrollada en torno a una bobina con un radio de curvatura de 140 mm.

[0021] De acuerdo con una realización de una fibra de acuerdo con esta invención, la integral de superficie del núcleo central (V_{01}), definida como

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1 ,$$

20 está comprendida entre $19.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y preferiblemente entre $20.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$. En una realización preferida adicional, la integral de superficie del núcleo central (V_{01}) está comprendida entre $20.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $21.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, ya que este intervalo da lugar a unas propiedades ópticas óptimas de la presente fibra.

[0022] De acuerdo con la invención, la integral de superficie del canal deprimido (V_{03}), definida como

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3 ,$$

25 está comprendida entre $-55.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $-30.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$. Preferiblemente, la integral de superficie del canal deprimido (V_{03}) está comprendida entre $-42.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $-32.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, ya que ello da lugar a las propiedades ópticas óptimas de la presente fibra.

[0023] De acuerdo con la invención, la integral de volumen del canal deprimido (V_{13}), definida como

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3 ,$$

30 está comprendida entre $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Preferiblemente, la integral de volumen del canal deprimido (V_{13}) está comprendida entre $-1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, ya que este intervalo da lugar a unas propiedades ópticas óptimas de la presente fibra.

35 **[0024]** La fibra presenta unas propiedades físicas y unos parámetros operativos con una mayor resistencia a las pérdidas por flexión. Por ejemplo, la fibra presenta para una longitud de onda de corte efectiva λ_{ceff} superior a 1300 nanómetros, midiéndose la longitud de onda de corte efectiva como la longitud de onda a la cual la señal óptica pasa a ser monomodo tras su propagación a lo largo de dos metros de fibra. La fibra presenta, para una longitud de onda de 1550 nanómetros, unas pérdidas por flexión menores o iguales a 0,003 dB/vuelta para un radio de curvatura de 15 milímetros, unas pérdidas por flexión inferiores o iguales a 3×10^{-2} dB/vuelta, preferiblemente de 7.5×10^{-3} dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, unas pérdidas por flexión inferiores o iguales a 0.05 dB/vuelta para un radio de curvatura de 7.5 milímetros, y unas pérdidas por flexión inferiores a 0.15 dB/vuelta, preferiblemente menores de 0.10 dB/ vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros.

40 **[0025]** La fibra que se describe en la presente invención también muestra unas reducidas pérdidas por flexión a longitudes de onda más elevadas. Por ejemplo, para una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra presenta unas pérdidas por flexión inferiores a 10-2 dB/vuelta, y preferiblemente, inferiores a 1.5 x 10 dB/vuelta para un radio de curvatura de 15 milímetros, unas pérdidas por flexión iguales o inferiores a 0.1 dB/vuelta, preferiblemente iguales o inferiores a 25×10^{-3} dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, unas pérdidas por flexión iguales o inferiores a 0.15 dB/vuelta, y preferiblemente iguales o inferiores a 0.08 dB/vuelta, para un radio de curvatura de 7.5

milímetros, y unas pérdidas por flexión iguales o inferiores a 0.25 dB/vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros. De este modo, en una realización preferida, la fibra presenta para una longitud de onda de corte que está comprendida entre 1240 nanómetros y 1310 nanómetros, midiéndose la longitud de onda de corte como la longitud de onda a la cual la señal óptica deja de ser monomodo tras su propagación a lo largo de cinco metros de fibra. La longitud de onda de corte debe distinguirse del corte de cable, medido como la longitud de onda a la cual la atenuación del modo LP11 es igual o superior a 19.3 dB tras su propagación a lo largo de 22 metros de fibra. La fibra presenta para una longitud de onda de corte del cable igual o inferior a 1260 nanómetros.

[0026] Una cuarta definición de corte utilizada en este documento es la longitud de onda de corte teórica, definida como la longitud de onda a partir de la cual el modo LP11 se propaga en modo de fuga. En una realización, la fibra presenta para una longitud de onda de corte teórica igual o inferior a 1250 nanómetros. La fibra presenta una atenuación del modo LP11 superior a 5 dB tras la propagación a lo largo de 22 metros de fibra para una longitud de onda de 1260 nanómetros.

[0027] Los parámetros operativos que se han descrito anteriormente son el resultado de las propiedades físicas preferidas de la fibra. En una realización, el núcleo central de la fibra tiene un radio comprendido entre 3.8 μm y 4.35 μm ; el revestimiento intermedio tiene un radio comprendido entre 8.5 μm y 9.7 μm ; el canal deprimido tiene un radio de entre 13.5 μm y 16 μm , pudiendo ser igual o inferior a 15 μm . Preferiblemente, el núcleo central tiene una diferencia de índice de refracción (Δn_1) con el revestimiento óptico externo de entre 4.9×10^{-3} y 5.7×10^{-3} .

[0028] Como se ha observado anteriormente, el perfil de índice de refracción de una fibra se traza como la diferencia entre los valores del índice de refracción en puntos situados en el radio de la fibra y el revestimiento óptico externo. El revestimiento intermedio presenta una diferencia de índices con el revestimiento óptico de entre -0.1×10^{-3} y 0.6×10^{-3} . El canal deprimido presenta una diferencia de índice con el revestimiento óptico que está comprendida entre -10.0×10^{-3} y -5.0×10^{-3} . La fibra presenta para una longitud de onda de dispersión cromática cero entre 1300 nanómetros y 1324 nanómetros; el valor del gradiente de dispersión cromática de la fibra a la longitud de onda de dispersión cromática cero es inferior a 0.092 ps/(nm²·km).

[0029] La invención también se refiere a una caja óptica para la recepción de al menos una porción de la fibra que se describe en este documento. En dicha caja, la fibra puede disponerse con un radio de curvatura inferior a 15 milímetros, y que puede ser del orden de 5 milímetros. La invención también se refiere a un sistema de fibra óptica para el hogar (FTTH) que comprende al menos una porción de la fibra según la invención.

[0030] Cuanto antecede, así como otras características y ventajas de la presente invención, así como la forma en que se llevan a cabo las mismas, se especifica en mayor detalle en la siguiente descripción detallada y en las figuras adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0031] La figura 1 muestra una sección transversal de una fibra monomodo con capas de revestimiento en los respectivos radios que se extienden desde el centro.

[0032] La figura 2 muestra el perfil de índice de refracción del ejemplo de fibra monomodo de la figura 1 de acuerdo con la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0033] La fibra (10) de la invención presenta un núcleo central (11), un revestimiento intermedio (12) y un revestimiento deprimido (13). A los efectos del presente documento, y sin que ello limite el alcance de la invención, un revestimiento deprimido significa una porción radial de la fibra (10) cuyo índice de refracción es inferior al índice de refracción del revestimiento óptico externo (14). Normalmente, el núcleo central (11), el revestimiento intermedio (12), y el revestimiento deprimido (13) se obtienen mediante deposición química en fase de vapor en un tubo de sílice. El revestimiento óptico externo (14) incluye el tubo de sílice y el revestimiento adicional del tubo. En las realizaciones preferidas, el revestimiento adicional suele ser sílice normal o dopada, pero también puede obtenerse mediante cualquier otra técnica de deposición (deposición axial en fase de vapor ("VAD") o deposición de vapor externo ("OVD")).

[0034] La figura 2 muestra un perfil de índice de refracción correspondiente a la fibra de transmisión (10) de la figura 1. El Perfil de la figura 2 es un perfil preconfigurado, es decir, representativo del perfil teórico de la fibra, pero la fibra realmente obtenida tras el estirado de la una preforma puede presentar un perfil ligeramente diferente.

[0035] De una forma conocida per se en la técnica, se obtiene una fibra óptica (10) mediante el estirado de una preforma. A modo de ejemplo, la preforma puede consistir en un tubo de vidrio de muy alta calidad (sílice puro) que eventualmente forme parte del revestimiento óptico externo (14). El revestimiento óptico externo (14) rodea el núcleo central (11) y los revestimientos internos (12, 13) de la fibra. (10). Este tubo puede someterse a un revestimiento adicional para incrementar su diámetro antes de pasar a la operación de estirado de la fibra en una torre de estirado de fibra. Para la fabricación de la preforma, el tubo suele montarse horizontalmente y sujetarse por sus dos extremos mediante barras de cristal en un torno; a continuación se hace girar el tubo y se calienta localmente para el proceso

de deposición que determina la composición de la preforma. Esta composición determina las características ópticas de la fibra futura.

5 **[0036]** La fibra incluye un núcleo central (11) con una diferencia de índice Δn_1 con un revestimiento externo (14) que funciona como un revestimiento óptico. La fibra (10) incluye asimismo un revestimiento intermedio (12) que presenta una diferencia de índice Δn_2 con el revestimiento óptico externo (14) y un revestimiento de canal deprimido (13) con una diferencia de índice Δn_3 con el revestimiento óptico externo (14). Los índices de refracción en el núcleo central (11), el revestimiento intermedio (12) y el canal deprimido (13) permanecen sustancialmente constantes a lo largo de sus respectivos rangos, como se aprecia en la figura 2. La figura 1 muestra que la anchura del núcleo (11) viene definida por su radio r_1 y la anchura de los revestimientos, por sus respectivos radios externos, r_2 y r_3 . El revestimiento óptico externo aparece marcado con la referencia r_4 .

10 **[0037]** Para poder definir un perfil de índice de refracción prefijado para una fibra óptica, suele tomarse como referencia el valor del índice de refracción del revestimiento óptico externo (n_g). Los valores de índice del núcleo central (11), del revestimiento intermedio (12), y del revestimiento del canal deprimido (13) se presentan seguidamente en la figura 2 como diferencias de índice $\Delta n_{1,2,3}$. Por lo general, el revestimiento óptico externo (14) está compuesto de sílice, pero este revestimiento puede doparse para aumentar o reducir su índice de refracción, por ejemplo, para modificar las características de propagación de la señal.

15 **[0038]** Todos los perfiles de fibra óptica mostrados en la figura 2 (21-24) también pueden definirse en función de integrales que vinculan las variaciones de índice con el radio de cada sección de la fibra (10). De este modo, es posible definir tres integrales de superficie para la fibra (10) de la invención, representativas de la superficie del núcleo V_{01} , de la superficie del revestimiento intermedio V_{02} y de la superficie del canal deprimido V_{03} . La expresión "superficie" no debe interpretarse geoméricamente, sino que corresponde a un valor que tiene en cuenta dos dimensiones. Estas tres integrales de superficie pueden expresarse de la forma siguiente:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

$$V_{02} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_2 - r_1) \times \Delta n_2$$

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3 .$$

20 **[0039]** Del mismo modo, es posible definir tres integrales de volumen para la fibra (10) de la invención, representativas del volumen del núcleo V_{11} , del volumen del revestimiento intermedio V_{12} y del volumen del canal deprimido V_{13} . La expresión "volumen" no debe interpretarse geoméricamente, sino que corresponde a un valor que tiene en cuenta tres dimensiones. Estas tres integrales de volumen pueden expresarse de la forma siguiente:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx r_1^2 \times \Delta n_1$$

$$V_{12} = 2 \cdot \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_2^2 - r_1^2) \times \Delta n_2$$

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3 .$$

5 **[0040]** La tabla I (a continuación) muestra 9 ejemplos de perfiles de fibra según las realizaciones preferidas de la invención, comparándolos con tres perfiles de fibra SSMF y un perfil de fibra correspondiente a las recomendaciones G.657A y G.657B (indicada como "BIF" o fibra insensible a la flexión) así como 13 ejemplos comparativos. El Solicitante comercializa una fibra insensible a la flexión que presenta una adecuada resistencia a las pérdidas por flexión, bajo la marca registrada BendBright. Los valores de las tablas corresponden a los perfiles predefinidos para cada fibra.

10 **[0041]** Todos los perfiles también se diseñaron para garantizar un nivel de Interferencia de recorrido múltiple (MPI) inferior a -30 dB, lo que garantiza la plena compatibilidad con cualquier red del sistema adecuadamente instalada, comprendiendo redes de acceso y Fibra doméstica. El término MPI está definido en W. Zheng et al., "Measurement and System Impact of Multipath Interference From Dispersion Compensating Fiber Modules", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2004, 53, pp15-23) y sus consideraciones específicas en materia de medida se detallan en S. Ramachandran et Al., "Measurement of Multipath Interference in the Coherent Crosstalk Regime", IEEE Photonics Technology Letters, 2003, 15, páginas 1171-1173.

15 **[0042]** La primera columna de la tabla I asigna una referencia a cada ejemplo (Ex significa ejemplo, de acuerdo con la invención, C. Ex. Ejemplo comparativo); las siguientes tres columnas indican los valores de los radios del núcleo (11), del revestimiento intermedio (12), y del canal deprimido (13), respectivamente. Las siguientes tres columnas ofrecen los correspondientes valores de las diferencias del índice de refracción con el revestimiento óptico externo (14). Los valores del índice de refracción se miden para una longitud de onda de 633 nanómetros. La tabla I también muestra los valores de la integral de superficie y de la integral de volumen del núcleo (11), del revestimiento intermedio (12) y del canal deprimido (13), según lo anteriormente definido.

20

Tabla 1

	r ₁ (μm)	r ₂ (μm)	r ₃ (μm)	Dn ₁ [10 ⁻³]	Dn ₂ [10 ⁻³]	Dn ₃ [10 ⁻³]	V ₀₁ (μm) [10 ⁻³]	V ₀₂ (μm) [10 ⁻³]	V ₀₃ (μm) [10 ⁻³]	V ₁₁ (μm ²) [10 ⁻³]	V ₁₂ (μm ²) [10 ⁻³]	V ₁₃ (μm ²) [10 ⁻³]
BIF	3.93	9.38	14.72	5.26	0.13	-5.01	20.7	0.7	-26.8	81.1	9.4	-645
SSMF1	4.35	13.92		5.00	0.20		21.8	-1.9	0.0	94.6	-35.0	0
SSMF2	4.51	13.92		5.00	0.20		22.5	-1.9	0.0	101.5	-34.7	0
SSMF3	4.55	13.92		5.24	0.20		23.8	-1.9	0.0	108.4	-34.6	0
C. Ex1	3.82	9.01	13.55	5.67	0.57	-9.63	21.7	2.9	-43.7	82.8	37.7	-986
C. Ex2	3.96	8.61	13.86	5.58	0.31	-7.87	22.1	1.4	-41.3	87.6	17.9	-928
C. Ex3	3.92	8.78	13.84	5.55	0.32	-8.75	21.7	1.5	-44.3	85.2	19.7	-1002
C. Ex4	3.88	9.09	14.35	5.62	0.34	-7.84	21.8	1.8	-41.2	84.5	23.1	-965
C. Ex5	3.93	9.30	14.48	5.30	0.51	-7.76	20.8	2.7	-40.1	81.7	36.0	-955
C. Ex6	3.93	9.28	14.47	5.31	0.53	-7.51	20.9	2.8	-39.0	82.0	37.5	-926
C. Ex7	3.93	8.50	15.00	5.48	0.50	-5.00	21.5	2.3	-32.5	84.6	28.4	-764
C. Ex8	3.93	9.25	13.65	5.37	0.50	-9.90	21.1	2.7	-43.5	83.0	35.1	-997
C. Ex9	3.93	8.50	15.50	5.33	0.51	-5.00	21.0	2.3	-35.0	82.4	28.8	-840
C. Ex10	3.93	9.27	13.65	5.31	0.52	-9.80	20.9	2.8	-42.9	82.1	36.9	-983
C. Ex11	3.94	9.25	13.54	5.30	0.56	-9.87	20.9	3.0	-42.3	82.3	39.2	-964
C. Ex12	3.95	9.29	13.91	5.30	0.50	-8.93	20.9	2.7	-41.2	82.6	35.4	-957
C. Ex13	3.93	8.50	15.50	5.32	0.57	-5.00	20.9	2.6	-35.0	82.1	32.2	-840
Ex1	3.90	9.23	14.34	4.94	0.35	-7.15	19.3	1.9	-36.5	75.1	24.5	-861
Ex2	3.91	9.23	14.34	5.14	0.10	-7.15	20.1	0.5	-36.5	78.6	7.0	-861
Ex3	3.91	9.23	14.81	5.14	0.10	-7.15	20.1	0.5	-39.9	78.6	7.0	-959
Ex4	3.91	9.23	14.34	5.29	-0.06	-7.15	20.7	-0.3	-36.5	80.9	-4.2	-861
Ex5	3.91	9.23	14.81	5.29	-0.06	-7.15	20.7	-0.3	-39.9	80.9	-4.2	-959
Ex6	3.93	9.26	13.53	5.34	0.51	-9.74	21.0	2.7	-41.6	82.3	36.0	-949
Ex7	3.93	9.25	13.53	5.31	0.50	-9.93	20.8	2.7	-42.5	81.9	35.3	-967
Ex8	3.94	8.50	15.00	5.43	0.50	-5.00	21.4	2.3	-32.5	84.3	28.6	-764
Ex9	3.94	9.26	13.50	5.33	0.51	-9.88	21.0	2.7	-41.9	82.8	35.5	-954

[0043] La fibra (10) de acuerdo con la realización mostrada en las figuras 1 y 2 de acuerdo con la invención es una fibra de índice en escalón que comprende un núcleo central (11), un revestimiento intermedio (12) y un canal deprimido (13). Debe observarse que, de acuerdo con la Tabla 1, el núcleo central (11) presenta un radio r_1 que está comprendida entre $3.8 \mu\text{m}$ y $4.35 \mu\text{m}$ y preferiblemente entre $3.8 \mu\text{m}$ y $4.05 \mu\text{m}$, es decir, que es más estrecho que el núcleo de una fibra SSMF. La fibra (10) tiene una diferencia de índice Δn_1 (21) con el revestimiento óptico externo (14) que está comprendida entre 4.9×10^{-3} y 5.7×10^{-3} , es decir, del orden de o mayor que la de una fibra SSMF. La integral de superficie del núcleo V_{01} está comprendida entre $19.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, y la integral de volumen del núcleo V_{11} está comprendida entre $75 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $91 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

[0044] También puede deducirse de la tabla I que la fibra de acuerdo con la invención presenta un canal deprimido (13). El canal deprimido (13) tiene un gran volumen y permite limitar en gran medida las pérdidas por flexión. La Tabla I muestra de este modo que el canal deprimido (13) tiene un radio r_3 comprendido entre $13.5 \mu\text{m}$ y $16 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice Δn_3 (23) con el revestimiento óptico externo (14) de entre -10.0×10^{-3} y -5.0×10^{-3} . La tabla I también indica que la integral de superficie del canal deprimido V_{03} , según se ha definido anteriormente, está comprendida entre $-55.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $-30.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, y que la integral de volumen del canal deprimido V_{13} , según se ha definido anteriormente, está comprendida entre $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

[0045] De acuerdo con una realización preferida, el radio del revestimiento deprimido r_3 puede limitarse a $15 \mu\text{m}$ para reducir aún más los costes de fabricación de la fibra, y todas las fibras de acuerdo con los ejemplos cumplen dicho requisito. De hecho, el canal deprimido (13) puede obtenerse mediante Deposición química en fase de vapor activada por plasma (PCVD), lo que permite incorporar una gran cantidad de flúor en la sílice para formar unos revestimientos profundamente deprimidos. La parte de la fibra (10) que se corresponde con el tubo y con la deposición de PCVD, sin embargo, es la que resulta más cara; por lo tanto, se trata de limitar esta parte en la medida de lo posible. También se puede prever la fabricación del canal deprimido (13) mediante la incorporación de micro-orificios o micro-burbujas, en lugar de proceder al dopado con flúor. No obstante, el dopado mediante flúor sigue siendo más fácil de controlar en la producción industrial que la incorporación de micro-burbujas.

[0046] Un canal deprimido (13) que se corresponde con los criterios de superficie y volumen definidos anteriormente permite conseguir un adecuado compromiso entre una gran reducción de las pérdidas por flexión en comparación con las fibras actuales, así como un régimen de fuga suficientemente coherente del modo LP11 para una longitud de onda de 1260 nm .

[0047] También se puede observar en la tabla I que una realización preferida de la fibra tiene un revestimiento intermedio (12) entre el núcleo central (11) y el canal deprimido (13). Este revestimiento intermedio (12) permite limitar los efectos del canal deprimido (13) sobre la propagación de la señal óptica en el núcleo. La tabla I muestra que el revestimiento intermedio (12) tiene un radio r_2 de entre $8.5 \mu\text{m}$ y $9.7 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice Δn_2 (22) con el revestimiento óptico de entre -0.1×10^{-3} y 0.6×10^{-3} . La tabla I muestra que la integral de superficie del revestimiento intermedio, V_{02} , como se ha definido anteriormente, está comprendida entre $-0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $3.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$. La integral de volumen del revestimiento intermedio V_{12} , según se ha definido anteriormente, está comprendida entre $-6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $40 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

[0048] El núcleo central (11) de una fibra (10) de acuerdo con la invención está optimizado, en combinación con el revestimiento intermedio (12), para garantizar unos parámetros de transmisión óptica en la fibra acordes con las recomendaciones de G.652 y G657A, especialmente en lo tocante al diámetro de campo de modo y a la dispersión cromática. Esto también sirve para garantizar la compatibilidad con las fibras de otros sistemas ópticos.

[0049] La tabla II (a continuación) muestra las características de transmisión óptica de las fibras según la invención. La primera columna repite las referencias de la Tabla I. Las siguientes columnas facilitan, para cada perfil de fibra, los valores del diámetro de campo de modo (MFD) para las longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm , la longitud de onda de dispersión cero (ZDW) y el gradiente de dispersión cero (ZDS).

Tabla II

	MFD1310 (μm)	MFD1550 (μm)	ZDW (nm)	ZDS ps/($\text{nm}^2 \cdot \text{km}$)
BIF	8.80	9.90	1320	0.0878
SSMF1	9.14	10.31	1314	0.0855
SSMF2	9.27	10.39	1309	0.0871
SSMF3	9.18	10.25	1306	0.088
C.Ex1	8.67	9.68	1317	0.0908
C.Ex2	8.65	9.59	1310	0.0917
C.Ex3	8.66	9.62	1312	0.0914
C.Ex4	8.64	9.65	1317	0.0897
C.Ex5	8.95	10.01	1317	0.0905
C.Ex6	8.96	10.02	1317	0.0905
C.Ex7	8.80	9.81	1314	0.0906
C.Ex8	8.89	9.91	1315	0.0913
C.Ex9	8.88	9.91	1314	0.0909

C.Ex10	8.94	9.97	1315	0.0914
C.Ex11	8.97	10.00	1314	0.0917
C.Ex12	8.95	9.99	1315	0.0911
C.Ex13	8.92	9.95	1314	0.0911
Ex1	9.00	10.10	1318	0.0906
Ex2	8.75	9.81	1318	0.0895
Ex3	8.75	9.81	1318	0.0895
Ex4	8.60	9.64	1318	0.0888
Ex5	8.60	9.64	1318	0.0888
Ex6	8.91	9.94	1315	0.0913
Ex7	8.92	9.95	1315	0.0914
Ex8	8.83	9.84	1313	0.0908
Ex9	8.93	9.95	1314	0.0915

5 **[0050]** Puede apreciarse en la tabla II que la fibra (10) según la invención es compatible con las fibras que se ajustan a los criterios establecidos por la recomendación G.652. Concretamente, la fibra que se describe en el presente documento tiene un diámetro de campo de modo MFD dentro de la gama estándar de valores, que oscilan entre 8.6 μm y 9.5 μm a 1310 nanómetros, una longitud de onda de dispersión cero situada entre 1300 nanómetros y 1324 nanómetros, y un gradiente de dispersión cero inferior a 0.092 ps/(nm²·km). Cada uno de estos valores se ajusta a la recomendación G.652.

10 **[0051]** Por otra parte, y como se muestra en la tabla III a continuación, la fibra tiene una longitud de onda de corte efectiva λ_{ceff} (o corte de fibra estándar, tercera columna de la Tabla III) mayor de 1300 nanómetros, o incluso superior a 1350 nanómetros. Como se ha comentado anteriormente, la longitud de onda de corte efectiva se define como la longitud de onda a la cual la señal óptica deja de ser monomodo, tras su propagación a lo largo de dos metros de fibra, de acuerdo con lo definido por el Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-44. Este incremento del valor de la longitud de onda de corte efectiva implica un valor de la longitud de onda de corte del cable λ_{cc} (o corte del cable estándar, quinta columna de la tabla III) situado entre 1200 nanómetros y 1260 nanómetros. La longitud de onda de corte del cable se define como la longitud de onda a la cual la señal óptica deja de ser monomodo tras su propagación a lo largo de 22 metros de fibra, de acuerdo con lo definido por el Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44. La señal óptica es monomodo cuando la atenuación del modo LP11 es igual o superior a 19.3 dB. Las recomendaciones G.652 y G.657 imponen un valor máximo de 1260 nanómetros para la longitud de onda de corte del cable.

20 **[0052]** Una finalidad de los descubrimientos revelados en este documento consiste en producir fibras que puedan utilizarse en todos los anchos de banda de transmisión explotados mediante sistemas ópticos, es decir, fibras que puedan utilizarse en propagación monomodo a partir del ancho de banda original (OB) que abarca desde 1260 nanómetros a 1360 nanómetros, y hasta el ancho de banda ultra largo (UL), más allá de los 1625 nanómetros. Una baja longitud de onda de corte efectiva permite garantizar la posibilidad de utilizar la fibra a lo largo de todos los anchos de banda disponibles.

25 **[0053]** Las simulaciones de la tabla III (a continuación), sin embargo, muestran que el modo LP11 de orden directamente superior se propaga según un modo de fuga, a partir de una longitud de onda de 1260 nanómetros. Por lo tanto, la fibra que se describe en este documento puede utilizarse en transmisión monomodo a lo largo del ancho de banda original (OB: 1260 nanómetros a 1360 nanómetros).

30 **[0054]** La tabla III (a continuación) muestra diversos valores de la longitud de onda de corte correspondientes a las fibras según la invención. La primera columna de la tabla III repite las referencias de la tabla I.

35 **[0055]** La columna "corte teórico de la fibra" proporciona un valor teórico de la longitud de onda de corte, que se corresponde con la longitud de onda de transición entre una propagación guiada del modo LP11 y una propagación en modo de fuga de este modo LP11. Para trabajar con longitudes de ondas que superen esta longitud de onda de corte efectiva, el modo LP11 se propaga en modo fuga.

[0056] La columna "corte de la fibra estándar" corresponde a la longitud de onda de corte efectiva λ_{ceff} de acuerdo con lo definido por el Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44.

40 **[0057]** La columna "corte de fibra 5m" corresponde a la longitud de onda de corte definida como la longitud de onda por encima de la cual la señal óptica deja de ser multimodo tras la propagación a lo largo de cinco metros de fibra. Por lo tanto, este valor corresponde a la longitud de onda de corte efectiva medida tras la propagación a lo largo de cinco metros de fibra, en lugar de 2 metros de fibra.

45 **[0058]** La columna "corte de cable estándar" corresponde a la longitud de onda de corte del cable λ_{cc} de acuerdo con lo definido por el Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44. Según las recomendaciones del Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44, la longitud de onda de corte del cable λ_{cc} se determina situando la fibra en dos bucles de 40 milímetros de radio y disponiendo el resto de la fibra (es decir, 21.5 metros de fibra) en una bobina con un radio de 140 milímetros.

Este corte debería ser de 1260 nm o inferior, de acuerdo con la presente invención. El ejemplo comparativo 7 satisface este requisito, pero resulta ligeramente demasiado elevado con respecto al corte recto del cable, por lo que recae fuera del alcance de la presente invención.

5 **[0059]** La Columna "corte de cable recto" corresponde a la longitud de onda de corte del cable cuando se coloca la fibra en dos bucles con un radio de 40 milímetros cada uno, y disponiendo el resto de la fibra (es decir, 21.5 metros de fibra) virtualmente recta. Esta frecuencia de corte debería ser de 1260 nm o inferior, de acuerdo con la presente invención. Los ejemplos comparativos 9, 10 y 12 satisfacen este requisito, pero son ligeramente demasiado elevados con respecto al corte de cable estándar y recaen fuera del ámbito de la presente invención. Todos los ejemplos comparativos recaen fuera del ámbito de la presente invención, ya que presentan una frecuencia de corte estándar algo superior a 1260 nm o una frecuencia de de corte recto de una cable algo superior a 1260 nm.

10 **[0060]** La columna "LP11 LL @1260 después de 22 m" indica las pérdidas por fuga del modo LP11 tras su propagación a lo largo de 22 metros de fibra virtualmente recta.

15 **[0061]** La columna "Longitud - 19.3dB LP11 LL @1260 nm" indica la longitud de fibra necesaria para conseguir unas pérdidas por fuga del modo LP11 equivalentes a 19.3dB, manteniendo la fibra virtualmente recta. Esto indica a qué distancia la fibra, cuando se encuentra virtualmente recta, es monomodo de acuerdo con el significado de las recomendaciones G.652 y G.657.

Tabla III

	Corte de la fibra (teórico)	Corte fibra estándar	Corte fibra 5-m	Cable estándar	Corte cable recto	LP11 LL @1260 nm al cabo de 22 m	Longitud - 19.3dB LP11 LL @1260 nm
	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(dB)	(m)
BIF	1197	1270	1234	1196	1208	180	2
SSMF 1	1287	1226	1226	1151	1151	2	212
SSMF 2	1334	1267	1267	1188	1188	0	>1000
SSMF 3	1381	1311	1311	1231	1231	0	>1000
C.Ex 1	1250	1379	1321	1271	1268	10	41
C.Ex 2	1243	1383	1323	1271	1266	16	27
C.Ex 3	1232	1397	1333	1271	1265	16	26
C.Ex 4	1239	1392	1331	1272	1267	15	28
C.Ex 5	1242	1382	1322	1268	1264	18	24
C.Ex 6	1247	1376	1319	1267	1266	15	28
C.Ex 7	1249	1351	1302	1259	1262	18	23
C.Ex 8	1246	1378	1319	1268	1264	17	25
C.Ex 9	1235	1373	1317	1264	1260	18	24
C.Ex 10	1243	1371	1313	1263	1260	22	20
C.Ex 11	1248	1367	1310	1263	1263	17	25
C.Ex 12	1244	1371	1314	1264	1260	20	21
C.Ex 13	1240	1375	1319	1267	1263	17	24
Ex1	1175	1316	1255	1204	1201	88	5
Ex2	1171	1316	1246	1205	1198	83	5
Ex3	1171	1366	1271	1225	1205	44	10
Ex4	1171	1316	1244	1207	1195	75	6
Ex5	1171	1366	1269	1226	1200	40	11
Ex9	1243	1360	1304	1257	1258	26	16
Ex7	1238	1362	1305	1256	1255	24	17
Ex8	1247	1350	1300	1257	1260	22	19
Ex9	1245	1362	1306	1259	1259	24	18

20 **[0062]** En la tabla III se observa que longitud de onda de corte efectiva estándar N_{ceff} , es decir, la definida de acuerdo con las recomendaciones del Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44, es superior a 1300 nm. Igualmente, en la Tabla III se aprecia que la longitud de onda de corte estándar del cable λ_{cc} , es decir, la medida de acuerdo con las recomendaciones del Subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-44, se encuentra entre 1200 nanómetros y 1260 nanómetros, es decir, que se ajusta al límite de 1260 impuesto por las recomendaciones G.652 y G.657.

25 **[0063]** En la tabla III se observa que el modo LP11 está ligeramente atenuado desde una longitud de onda 1260 nanómetros. De hecho, la longitud de onda de corte "teórica" de la fibra es igual o inferior a 1250 nanómetros. De este modo, el modo de orden superior LP11 se propaga siguiendo un régimen de modo de fuga en el ancho de

banda original, y sólo el modo fundamental permanece guiado en la fibra de la invención, a partir de una longitud de onda de 1260 nanómetros.

5 **[0064]** Igualmente, puede observarse en la tabla III que la longitud de onda de corte de la fibra se reduce de forma importante al cabo de tan sólo 5 metros de propagación a través de la fibra. De este modo, la longitud de onda de corte, definida como la longitud de onda a la cual la señal óptica deja de ser monomodo tras su propagación a lo largo de cinco metros de fibra, se encuentra entre 1240 nanómetros y 1310 nanómetros para una fibra según la invención.

10 **[0065]** Además, la tabla III indica claramente que el modo LP11 ya se encuentra bien atenuado al cabo de 22 metros de propagación. Cabe señalar, especialmente, que la atenuación del modo LP11 en una fibra (10) de acuerdo con la presente invención es mayor que la atenuación del modo LP11 en una fibra SSMF cuando la fibra está dispuesta virtualmente recta. De hecho, en una fibra SSMF, son las secciones flexionadas las que permiten atenuar enormemente el modo LP11. De este modo, la fibra tiene una atenuación del modo LP11 superior a 5 dB tras 22 metros de propagación a través de fibra recta para una longitud de onda de 1260 nanómetros.

15 **[0066]** Además, la tabla III también muestra que la atenuación de al menos 19.3 dB del modo LP11 se consigue con relativa rapidez, al cabo de menos de 22 metros, de acuerdo con el corte de cable impuesto por la recomendación.

[0067] Asimismo, el incremento de la longitud de onda de corte efectiva permite incrementar el valor MAC, como se ha definido anteriormente, y por tanto, reducir las pérdidas por flexión.

20 **[0068]** La tabla IV (que se muestra a continuación) indica los valores de pérdidas por flexión para las realizaciones preferidas de las fibras que se describen en el presente documento. La primera columna de la tabla IV repite las referencias de la tabla I. Las siguientes cuatro columnas muestran unos valores de pérdida por flexión PPC para unos respectivos radios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7.5 milímetros y 5 milímetros para una longitud de onda de 1550 nanómetros. Las siguientes cuatro columnas muestran unos valores de pérdida por flexión PPC para unos respectivos radios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7.5 milímetros y 5 milímetros para una longitud de onda de 1625 nanómetros.

25 **[0069]** La última columna tiene un factor de mérito FOM que representa el orden de magnitud de la mejora en las pérdidas por flexión por parte de las fibras según la presente invención, comparado con los límites impuestos por la recomendación G.657B. El FOM de la Tabla IV se define por tanto como la media de los la proporción entre los límites superiores impuestos por la norma G.657B y las pérdidas por flexión de las fibras de la invención para cada radio de curvatura medido. Todos los ejemplos muestran un FOM menor o igual a 1, lo que significa que todas ellas satisfacen las recomendaciones de G.657B en materia de pérdidas por flexión.

30 **[0070]** La tabla IV indica, en la primera línea, los valores límite de pérdidas por flexión impuestos por la recomendación G.657B para cada radio de curvatura y para las longitudes de ondas de 1550 nanómetros y 1625 nanómetros.

35 Tabla IV

	R=15mm	R=10mm	R=7.5mm	R=5mm	R=15mm	R=10mm	R=7.5mm	R=5mm	FOM
	PPC @1550nm (dB/vuelta)				PPC @1625nm (dB/vuelta)				
G657B	3 E-03	1 E-01	5 E-01		1 E-02	2 E-01	1 E+00		1.00
BIF	1.3E-03	2.9E-02	1.0E-01	3.3E-01	7.0E-03	8.4E-02	2.3E-01	6.3E-01	0.70
SSMF1	1.5E-02	6.0E-01	3.4E+00	1.7E+01	7.5E-02	1.7E+00	6.9E+00	2.7E+01	8.44
SSMF2	6.3E-03	3.6E-01	2.4E+00	1.4E+01	3.4E-02	1.0E+00	5.0E+00	2.3E+01	5.21
SSM F3	9.6E-04	1.1E-01	1.0E+00	8.9E+00	6.5E-03	3.6E-01	2.5E+00	1.4E+01	2.45
C.Ex1	4.9E-05	2.9E-03	1.6E-02	7.1E-02	3.9E-04	1.1E-02	4.2E-02	1.3E-01	0.05
C.Ex2	5.4E-05	2.9E-03	1.6E-02	6.5E-02	4.3E-04	1.1E-02	4.1E-02	1.3E-01	0.05
C.Ex3	6.6E-05	3.0E-03	1.5E-02	5.6E-02	5.0E-04	1.1E-02	3.8E-02	1.1E-01	0.05
C.Ex4	6.2E-05	3.1E-03	1.5E-02	6.3E-02	4.7E-04	1.1E-02	3.9E-02	1.2E-01	0.06
C.Ex5	2.2E-04	6.9E-03	2.7E-02	1.0E-01	1.3E-03	2.1E-02	6.4E-02	1.8E-01	0.13
C.Ex6	2.1E-04	7.1E-03	2.9E-02	1.1E-01	1.3E-03	2.2E-02	6.9E-02	2.0E-01	0.13
C.Ex7	1.4E-04	6.5E-03	3.1E-02	1.3E-01	1.0E-03	2.2E-02	7.7E-02	2.4E-01	0.11
C.Ex8	1.4E-04	5.4E-03	2.4E-02	9.0E-02	9.2E-04	1.8E-02	5.8E-02	1.7E-01	0.09
C.Ex9	2.3E-04	7.3E-03	2.8E-02	1.0E-01	1.4E-03	2.3E-02	6.8E-02	2.0E-01	0.14
C.Ex10	2.0E-04	6.8E-03	2.9E-02	1.0E-01	1.2E-03	2.2E-02	6.8E-02	2.0E-01	0.12
C.Ex11	2.0E-04	7.1E-03	3.0E-02	1.1E-01	1.2E-03	2.3E-02	7.1E-02	2.1E-01	0.12
C.Ex12	2.0E-04	7.0E-03	2.9E-02	1.0E-01	1.3E-03	2.2E-02	6.8E-02	2.0E-01	0.13
C.Ex13	2.3E-04	7.4E-03	2.9E-02	1.1E-01	1.4E-03	2.3E-02	7.0E-02	2.1E-01	0.14
Ex1	2.3E-03	2.8E-02	8.0E-02	1.4E-01	1.0E-02	7.5E-02	1.7E-01	2.5E-01	1.00
Ex2	1.2E-03	1.9E-02	5.0E-02	1.0E-01	6.5E-03	5.4E-02	1.3E-01	2.1E-01	0.65

Ex3	8.5E-04	1.2E-02	3.6E-02	6.7E-02	4.5E-03	3.7E-02	8.4E-02	1.4E-01	0.45
Ex4	7.1E-04	1.3E-02	4.3E-02	8.7E-02	4.1E-03	4.2E-02	1.0E-01	1.8E-01	0.41
Ex5	4.9E-04	8.7E-03	2.8E-02	5.6E-02	2.8E-03	2.8E-02	6.7E-02	1.2E-01	0.28
Ex6	2.0E-04	7.1E-03	3.1E-02	1.1E-01	1.2E-03	2.3E-02	7.2E-02	2.1E-01	0.12
Ex7	2.2E-04	7.4E-03	3.1E-02	1.1E-01	1.4E-03	2.4E-02	7.2E-02	2.1E-01	0.14
Ex8	1.7E-04	7.4E-03	3.4E-02	1.3E-01	1.2E-03	2.4E-02	8.2E-02	2.5E-01	0.12
Ex9	1.9E-04	7.0E-03	3.0E-02	1.1E-01	1.2E-03	2.3E-02	7.2E-02	2.1E-01	0.12

[0071] Puede observarse en la tabla IV que las pérdidas por flexión de las fibras que corresponden al perfil según la invención son claramente inferiores a lo límites impuestos por la norma G.657B. Tan sólo las pérdidas por flexión a 1625 con una curvatura de 15 milímetros correspondiente al ejemplo 1 son las mismas que en la recomendación.

5 **[0072]** De este modo, la fibra descrita más arriba tiene, para una longitud de onda de 1550 nanómetros, unas pérdidas por flexión inferiores a 3×10^{-3} dB/vuelta, preferiblemente inferiores a 0.25×10^{-3} dB/vuelta para un radio de curvatura de 15 milímetros, en comparación con un límite de 3×10^{-3} dB/vuelta impuesto por la recomendación G.657B. Asimismo, la fibra tiene unas pérdidas por flexión inferiores o iguales a 3×10^{-2} , preferiblemente iguales o inferiores a 7.5×10^{-3} dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, comparado con un límite de 0.1 dB/vuelta impuesto por la recomendación G.657B. Las pérdidas por flexión son iguales o inferiores a 0.05 dB/vuelta para un radio de curvatura de 7.5 milímetros, comparado con un límite de 0.5 dB/vuelta impuesto por la recomendación G.657B, y unas pérdidas por flexión inferiores a 0.15 dB/vuelta, preferiblemente iguales o inferiores a 0.10 dB/vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros.

15 **[0073]** Del mismo modo, la fibra según la invención presenta, para una longitud de onda de 1625 nanómetros, unas pérdidas por flexión inferiores a 10^{-2} dB/vuelta preferiblemente inferiores a 1.5×10^{-3} dB/vuelta para un radio de curvatura de 15 milímetros, en comparación con un límite de 10^{-2} dB/vuelta impuesto por la recomendación G.657B. Las pérdidas por flexión son iguales o inferiores a 0.1 dB/vuelta, y preferiblemente iguales o inferiores a 25×10^{-3} dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, comparado con un límite de 0.2 dB/vuelta impuesto por la recomendación G.657B. La fibra presenta unas pérdidas por flexión iguales o inferiores a 0.15 dB/vuelta, preferiblemente iguales o inferiores a 0.08 dB/vuelta para un radio de curvatura de 7.5 milímetros, frente a un límite de 1 dB/vuelta impuesto por la recomendación G.657B, y unas pérdidas por flexión inferiores a 0.25 dB/vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros.

25 **[0074]** Las fibras que se describen en el presente documento resultan perfectamente adecuadas para su utilización en sistemas ópticos instalados en el domicilio del abonado, del tipo FTTH, en los que la fibra se somete a unas importantes tensiones por flexión causadas por la miniaturización de la caja óptica, o provocadas por la sujeción de la fibra mediante grapas. La fibra puede situarse en cajas ópticas especialmente compactas. De hecho, la fibra óptica puede configurarse con un radio de curvatura de menos de 15 milímetros, por ejemplo, un radio de curvatura de unos 5 milímetros. La fibra sigue siendo compatible con las fibras de los sistemas existentes, especialmente en lo que se refiere al diámetro de campo de modo para un buen acoplamiento entre fibra y fibra. El aumento de la longitud de onda de corte no resulta perjudicial, debido a una importante atenuación del modo LP11 desde una longitud de onda de 1260 nanómetros.

35 **[0075]** Como se indica en la solicitud de patente estadounidense N° 60/986737 relativa a una fibra óptica resistente a las microflexiones (Overton) y en la solicitud de patente estadounidense N° 61/041484 (Overton) correspondiente a una fibra óptica resistente a las micro flexiones, las cuales quedan incorporadas por referencia al presente documento, la asociación de una fibra de vidrio no sensible a las flexiones (por ejemplo, las fibras de vidrio monomodo de Draka Comteq disponibles bajo el nombre comercial de BendBrightxso) con un revestimiento primario que tenga un módulo muy bajo (por ejemplo, el producto de acrilato de uretano curable por rayos UV de DSM Desotech, disponible bajo el nombre comercial DeSolite® DP 1011) consigue unas fibras ópticas con unas pérdidas excepcionalmente bajas (por ejemplo, reducciones en la sensibilidad a las micro flexiones de al menos 10x, en comparación con una fibra monomodo que utilice un sistema de revestimiento convencional). Por consiguiente, también recae dentro del ámbito de la presente invención la utilización de los revestimientos descritos en las solicitud de patente estadounidense N° 60/986737 y en la solicitud de patente estadounidense N° 61/041484 con la fibra óptica monomodo de la presente invención.

45 **[0076]** A este respecto, las micro flexiones pueden analizarse de acuerdo con el método de prueba de IEC del tambor de diámetro fijo cubierto de lija (es decir, IEC TR62221, Método B, papel de lija de 40 micras), que proporciona una situación de tensión por micro flexión que afecta a las fibras monomodo, incluso a temperatura ambiente. El informe técnico IEC TR62221 sobre sensibilidad a las micro flexiones y los procedimientos estándar de prueba (por ejemplo, IEC TR62221, Método B (tambor de papel de lija de diámetro fijo) y método D (tejido de esterilla)) quedan incorporados al presente documento por referencia.

50 **[0077]** Esta solicitud también incorpora en su totalidad por referencia las siguientes patentes y solicitudes de patente, en las que se discute acerca de las fibras ópticas: patente estadounidense N° 4.838.643, correspondiente a una fibra monomodo insensible a las flexiones para su utilización en aplicaciones de guiado de fibra óptica (Hodges et al.); la solicitud de patente estadounidense N° US 2007/0127878 AI y la solicitud de patente estadounidense N° 11/556.895, relacionada con ella, relativas a una Fibra Óptica monomodo (de Montmorillon et al.); la solicitud de

patente estadounidense N° US 2007/0280615 AI y la solicitud de patente estadounidense N° 11/697,994, relacionada con ella, y relativas a una Fibra Óptica monomodo (de Montmorillon et al.); la patente estadounidense N° 7.356.234 y la solicitud de patente estadounidense N° 11/743.365, relacionada con ella, relativa a una fibra de compensación de la dispersión cromática (de Montmorillon et al.); la solicitud de patente estadounidense N° US 2008/0152288 AI y la solicitud de patente estadounidense N° 11/999,333, relacionada con ella, relativa a una fibra óptica (Flammer et al.); y la solicitud de patente estadounidense N° 61/101.337 correspondiente a una fibra óptica monomodo (de Montmorillon et al.).

[0078] La fibra óptica según la presente invención también puede incluir una o más capas de revestimiento (por ejemplo, un revestimiento primario y un revestimiento secundario). Al menos una de las capas de revestimiento – normalmente, el revestimiento secundario – puede estar coloreada y/o poseer otras marcas que ayuden a identificar las fibras individuales. Alternativamente, una capa de tinta terciaria puede rodear los revestimientos primario y secundario.

[0079] La fibra óptica según la presente invención puede desplegarse en diversas estructuras, como los ejemplos de estructura que se describirán seguidamente.

[0080] Por ejemplo, una o más de las fibras ópticas de la presente invención pueden estar encerradas en el interior de un tubo de tubo protector. Por ejemplo, la fibra óptica puede desplegarse en un tubo de protección de fibra única suelta o en un tubo de protección de multifibras sueltas. En relación con este último caso, las múltiples fibras ópticas pueden agruparse o trenzarse en el interior de un tubo de protección u otra estructura. A este respecto, en el interior de un tubo de protección de fibras múltiples sueltas, los subgrupos de fibras pueden separarse mediante bridas (por ejemplo, cada subgrupo de fibras se envuelve con una brida). Además, pueden instalarse bifurcaciones de tubos en la terminación de estos tubos protectores de fibras sueltas para terminar directamente las fibras ópticas sueltas protegidas mediante conectores instalados in situ.

[0081] En otras realizaciones, el tubo de protección puede rodear ajustadamente el revestimiento más exterior de la fibra óptica (es decir, fibra de protección ajustada) o rodear en otra forma el revestimiento más exterior o la capa de tinta de la fibra óptica para proporcionar una holgura radial, por ejemplo, de entre 50 y 100 micras (es decir, una fibra de protección semi ajustada).

[0082] En lo tocante a la anterior fibra de protección ajustada, la protección puede conseguirse revistiendo la fibra óptica con un dispositivo curable (por ejemplo, un material curable por efecto de la luz ultravioleta) o un material termoplástico. El diámetro exterior del tubo de protección ajustado, independientemente de si el tubo de protección está o no fabricado a partir de un material curable o no curable, suele ser de menos de unas 1,000 micras (por ejemplo, de unas 500 micras o de unas 900 micras).

[0083] En lo tocante a la anterior fibra de protección semi-ajustada, puede insertarse un lubricante entre la fibra óptica y el tubo de protección (por ejemplo, para proporcionar una capa deslizante).

[0084] Como saben perfectamente las personas versadas en la materia, un ejemplo de tubo de protección que contenga fibras ópticas de acuerdo con lo descrito en este documento se puede fabricar mediante poliolefinas (por ejemplo, polietileno o polipropileno), comprendiendo poliolefinas fluoradas, poliésteres (por ejemplo, teraftalato de polibutileno), poliamidas (por ejemplo, nylon), y otros materiales poliméricos y mezclas. En general, un tubo de protección puede estar formado por una o más capas. Las capas pueden ser homogéneas o incluir en cada capa mezclas o combinaciones de diversos materiales.

[0085] En este contexto, el tubo de protección puede estar extrudido (por ejemplo, un material polimérico extrudido) o pultruido (por ejemplo, un plástico pultruido reforzado con fibra). Por ejemplo, el tubo de protección puede incluir un material que aporte una elevada resistencia a la temperatura y los productos químicos (por ejemplo, un material aromático o a base de polisulfonas).

[0086] Aunque los tubos de protección suelen tener una sección transversal circular, también pueden adoptar una forma irregular o no circular (por ejemplo, una sección transversal oval o trapezoidal).

[0087] Alternativamente, una o más de las fibras ópticas de la presente invención pueden simplemente estar rodeadas por una funda protectora exterior o estar encapsuladas en el interior de un tubo metálico sellado. En cualquiera de las estructuras, no se requiere necesariamente un tubo de protección intermedio.

[0088] Cuando las fibras ópticas descritas en este documento son múltiples, puede hacerse con ellas un sándwich, encapsularse, y/o pegarse por sus bordes para obtener una cinta de fibra óptica. Las cintas de fibra óptica pueden dividirse en subunidades (por ejemplo, una cinta de doce fibras que pueda dividirse en subunidades de seis fibras). Además, una pluralidad de estas cintas de fibra óptica se pueden agregar para formar una pila de cintas, que puede adoptar diversos tamaños y formas.

[0089] Por ejemplo, es posible formar una pila de fibras rectangular, o una pila de fibras en la que las cintas de fibra óptica más alta y más baja tengan menos fibras ópticas que las situadas hacia el centro de la pila. Esta

construcción puede resultar útil para aumentar la densidad de los elementos ópticos (por ejemplo, las fibras ópticas) en el interior del tubo de protección y/o del cable.

5 **[0090]** Por lo general, resulta deseable aumentar el relleno de los elementos de transmisión en los tubos de protección o cables, sujeto a otras limitaciones (por ejemplo, atenuación del cable o a medio tramo). Los propios elementos ópticos pueden diseñarse para aumentar la densidad de empaquetado. Por ejemplo, la fibra óptica puede poseer unas propiedades modificadas, como un perfil de índice de refracción mejorado, cambios en las dimensiones del núcleo o del revestimiento, o en el espesor y/o módulo del revestimiento primario, a fin de mejorar las características de micro flexión y macro flexión.

10 **[0091]** Por ejemplo, una pila rectangular de cintas puede fabricarse con o sin un retorcimiento central (es decir, un "retorcimiento primario"). Las personas versadas en la materia se darán cuenta de que una pila de cintas suele fabricarse con un retorcimiento rotacional, para permitir que el tubo o el cable pueda doblarse sin inducir una excesiva tensión mecánica sobre las fibras ópticas durante su bobinado, instalación y uso. En una variante estructural, la pila de cintas retorcida (o no retorcida) puede adoptar una configuración de bobina (por ejemplo, una hélice) o una configuración ondulatoria (por ejemplo, una senoide). Es decir, que la pila de cintas puede poseer deformaciones "secundarias" habituales.

15 **[0092]** Como ya conocen las personas versadas en la materia, dichas cintas de fibra óptica pueden situarse en el interior de un tubo de protección u otra estructura que las rodee, tal como un cable sin tubo de protección. Sujeto a una serie de restricciones (por ejemplo, atenuación) resulta deseable aumentar la densidad de elementos, como las fibras ópticas o cintas de fibras ópticas, en el interior de los tubos de protección y/o de los cables de fibra óptica.

20 **[0093]** Puede situarse una pluralidad de tubos de protección que contengan fibras ópticas (por ejemplo, fibras sueltas o en cinta) de forma externa, adyacentes a y trenzados en torno a un elemento central de refuerzo. Dicho trenzado puede llevarse a cabo en una dirección, helicoidalmente, conocidos como trenzados "S" o "r, u oscilante inverso, conocido como trenzado tipo "S-Z". El trenzado en torno al elemento central de refuerzo reduce la tensión ejercida sobre la fibra óptica cuando ésta se produce durante la instalación y el uso.

25 **[0094]** Las personas versadas en la materia comprenderán las ventajas que conlleva minimizar la tensión ejercida sobre la fibra, tanto en lo referente a las tensiones de tracción del cable como de compresión longitudinal del mismo durante su instalación o en condiciones de funcionamiento.

30 **[0095]** En lo que respecta a la deformación del cable por tracción, que puede producirse durante su instalación, el cable se alargará, pero las fibras ópticas pueden desplazarse hasta un punto más cercano al eje neutro del cable, a fin de reducir, si no eliminar, la tensión que se traslada a las fibras ópticas. Con respecto a las fuerzas de compresión longitudinales, que pueden aparecer a bajas temperaturas de funcionamiento, debido al encogimiento de los componentes del cable, las fibras ópticas se desplazarán alejándose del eje neutro del cable, para reducir, e incluso eliminar, la fuerza de compresión que se transmite a las fibras ópticas.

35 **[0096]** En una variante, pueden situarse dos o más capas sustancialmente concéntricas de tubos de protección en torno a un elemento de refuerzo central. En una variante adicional, los propios elementos de trenzado múltiples (por ejemplo, múltiples tubos de protección trenzados en torno a un elemento de refuerzo) pueden trenzarse entre sí o en torno a un elemento de refuerzo central primario.

40 **[0097]** Alternativamente, puede simplemente situarse una pluralidad de tubos de protección que contengan fibras ópticas (por ejemplo, fibras sueltas o en cintas) externamente y adyacentes al elemento central de refuerzo (es decir, los tubos de protección no se trenzan intencionalmente ni se disponen en torno al elemento central de refuerzo de una forma específica, y discurren de forma sustancialmente paralela al elemento central de refuerzo).

45 **[0098]** Alternativamente, las fibras ópticas de la presente invención pueden colocarse con un tubo de protección central en lugar de hacerlo con un elemento central de refuerzo). Dicho cable con tubo de protección central puede incluir los elementos de refuerzo en cualquier otro lugar. Por ejemplo, pueden situarse elementos de refuerzo metálicos o no metálicos (por ejemplo, GRP) dentro de la propia funda del cable, y/o pueden situarse una o más capas de hilos de alta resistencia (por ejemplo, hilos de aramida o de un material distinto de la aramida) de forma paralela a, o envolviendo (es decir, contra-helicoidalmente) al tubo de protección central (es decir, dentro del espacio interior del cable). Del mismo modo, los elementos de refuerzo pueden incluirse en el interior de la carcasa del tubo de protección.

50 **[0099]** En otras realizaciones, las fibras ópticas pueden colocarse en el interior de un cable con núcleo ranurado. En un cable con núcleo ranurado, las fibras ópticas, individualmente o como una cinta formada por fibras, pueden situarse en el interior de unos surcos helicoidales preformados (es decir, canales) practicados en la superficie de un elemento central de refuerzo, formando de este modo una unidad de núcleo ranurado. La unidad de tubo ranurado puede estar rodeada de un tubo de protección. Una o más de dicha unidades de núcleo ranurado pueden situarse en el interior de un cable de núcleo ranurado. Por ejemplo, puede trenzarse helicoidalmente una pluralidad de unidades de núcleo ranurado en torno a un elemento central de refuerzo.

55

[0100] Alternativamente, las fibras ópticas también pueden trenzarse en un diseño de cable maxitubo, en el que las fibras ópticas se trenzan en torno a sí mismas en el interior de un gran tubo de protección con múltiples fibras sueltas, en lugar de hacerlo en torno a un elemento central de refuerzo. Dicho de otro modo, el tubo de protección grande con múltiples fibras sueltas se sitúa centralmente dentro del cable maxitubo. Por ejemplo, dichos cables maxitubo pueden utilizarse en cables compuestos tierra-ópticos (OPGW).

[0101] En otra realización del cableado, pueden trenzarse múltiples tubos de protección en torno a sí mismos, sin la presencia de un elemento central. Estos tubos de protección trenzados pueden estar rodeados por un tubo de protección. El tubo de protección puede servir como envoltura exterior del cable de fibra óptica, o puede ir también rodeado por una funda exterior. El tubo de protección puede rodear holgada o apretadamente los tubos de protección trenzados.

[0102] Como conocen las personas versadas en la materia, pueden incluirse elementos adicionales en el interior del núcleo de un cable. Por ejemplo, pueden trenzarse o incorporarse de otra forma cables de cobre u otros elementos activos de transmisión dentro de la funda del cable. También pueden situarse elementos pasivos dentro del núcleo del cable, como entre las paredes interiores de los tubos de protección y las fibras ópticas que se encuentran en su interior. Alternativamente, y a modo de ejemplo, pueden colocarse elementos pasivos en el exterior de los tubos de protección, entre las respectivas paredes exteriores de los tubos de protección y la pared interior de la funda del cable, o dentro del espacio interior de un cable sin tubo de protección.

[0103] Por ejemplo, pueden utilizarse hilos, elementos no tejidos, textiles (por ejemplo, cintas), espumas u otros materiales que contengan materiales hinchables por efecto del agua y/o que estén recubiertos por materiales hinchables por efecto del agua (comprendiendo, por ejemplo, polímeros superabsorbentes (SAPs), como SAP en polvo) para bloquear el paso del agua y/o acoplar las fibras ópticas al tubo de protección que las rodea y/o a la funda del cable (por ejemplo, por adherencia, fricción, y/o compresión). Se describen ejemplos de elementos hinchables por efecto del agua en la solicitud de patente estadounidense N° US 2007/0019915 A1 y la solicitud de patente estadounidense N° 11/424,112, relacionada con ella, relativa a una cinta hinchable por efecto del agua, con su parte posterior adhesiva, para acoplamientos durante su utilización en el interior de un tubo de protección (Overton et al.), las cuales quedan incorporadas por referencia en su totalidad al presente documento.

[0104] Además, puede aplicarse un adhesivo (por ejemplo, un adhesivo de fundición en caliente o un adhesivo curable, como un acrilato de silicona reticulado por exposición a radiación actínica) a uno o más elementos pasivos (por ejemplo, el material hinchable por efecto del agua) para pegar los elementos al tubo de protección. También puede utilizarse un material adhesivo para pegar el elemento hinchable por efecto del agua a las fibras ópticas del interior del tubo de protección. Entre los ejemplos de configuración de dichos elementos se encuentran la solicitud de patente estadounidense N° US 2008/0145010 A1 relativa a un tubo de protección sin gel con un elemento óptico adherido mediante adhesivo (Overton et al.), la cual queda incorporada en su totalidad a este documento por referencia.

[0105] Los tubos de protección (o los cables sin tubo de protección) también pueden contener un compuesto tixotrópico (por ejemplo, grasa, o geles grasos) entre las fibras ópticas y las paredes interiores de los tubos de protección. Por ejemplo, si se rellena el espacio libre del interior del tubo de protección con una grasa de relleno con base de petróleo, que impida el paso del agua, se ayudará a evitar que se introduzca agua. Además, la grasa tixotrópica de relleno acopla mecánicamente (es decir, por viscosidad) las fibras ópticas al tubo de protección que las rodea.

[0106] Dichas grasas tixotrópicas de relleno son relativamente pesadas y sucias, obstaculizando las operaciones de conexión y empalme. De este modo, las fibras ópticas de la presente invención pueden desplegarse en estructuras de cable secas (es decir, tubos de protección sin grasa).

[0107] Entre los ejemplos de estructuras de tubo de protección que no contienen grasas tixotrópicas de relleno se encuentran la solicitud de patente estadounidense N° 12/146.588, relativa a un compuesto de acoplamiento para cables de fibra óptica, presentada el 26 de junio de 2008, (Parris et al.), que queda incorporada en su totalidad al presente documento por referencia. Dichos tubos de protección utilizan compuestos de acoplamiento formados a partir de una mezcla de polímeros elastoméricos con un elevado peso molecular (por ejemplo, en torno a un 35 por ciento en peso o menos) y aceites (por ejemplo, en torno a un 65 por ciento en peso o más) y que fluyen a bajas temperaturas. A diferencia de las grasas tixotrópicas de relleno, el compuesto de acoplamiento (por ejemplo, utilizado como un gel o espuma de cohesión) suele ser seco, y por tanto, menos sucio durante el empalme.

[0108] Como comprenderán las personas versadas en la materia, un cable que contenga fibras ópticas de acuerdo con lo indicado en la presente invención puede tener una funda formada por diversos materiales y con diversos diseños. La funda del cable puede formarse a partir de materiales poliméricos, como por ejemplo, polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo (PVC), poliamidas (por ejemplo, nylon), poliéster (por ejemplo, PBT), plásticos fluorados (por ejemplo, perfluoroetileno propileno, fluoruro de polivinilo, o difluoruro de polivinilideno), y acetato vinílico de etileno. Los materiales de la funda y/o del tubo de protección también pueden contener otros aditivos, como agentes nucleantes, retardadores de llama, retardadores de humo, antioxidantes, absorbentes de la radiación UV y/o plastificantes.

- 5 **[0109]** El revestimiento del cable puede consistir en una funda fabricada a partir de un material dieléctrico por ejemplo, polímeros no conductores), con o sin componentes estructurales complementarios que pueden utilizarse para mejorar la protección (por ejemplo, frente a roedores) y la resistencia proporcionada por el revestimiento del cable. Por ejemplo, el revestimiento del cable puede consistir en una o más capas de cinta metálica (por ejemplo, de acero) junto con una o más fundas dieléctricas. También se pueden incorporar al revestimiento barras de refuerzo metálicas o a base de fibra de vidrio (por ejemplo, GRP). También pueden utilizarse hilos de aramida, fibra de vidrio o poliéster bajo los diversos materiales del revestimiento (por ejemplo, entre la funda del y el núcleo del cable), y/o cordones que ayuden a abrir la funda, por ejemplo, en el interior de la funda del cable.
- 10 **[0110]** Al igual que los tubos de protección, los revestimientos de los cables de fibra óptica suelen tener una sección transversal circular, pero las fundas de cable también pueden tener una forma irregular o no circular (por ejemplo, una sección transversal oval, trapezoidal o plana).
- 15 **[0111]** A modo de ejemplo, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención puede incorporarse a cables monofibra, como los utilizados en aplicaciones de múltiples unidades de vivienda (MDU). En este tipo de tendidos, la funda del cable debe presentar resistencia al aplastamiento, resistencia a la abrasión, resistencia a pinchazos, estabilidad térmica y resistencia al fuego, de acuerdo con lo exigido por los códigos de edificación. Un ejemplo de material para la fabricación de dichas fundas de cables es el poliuretano ignífugo térmicamente estable (PUR), que protege mecánicamente las fibras ópticas pero que sigue siendo lo suficientemente estable como para facilitar la realización de instalaciones MDU. Alternativamente, también puede utilizarse una funda de poliolefina ignífuga o de cloruro de polivinilo.
- 20 **[0112]** En general, y como conocerán las personas versadas en la materia, los elementos de refuerzo suelen adoptar la forma de una barra o de unos cables o fibras trenzados helicoidalmente, aunque las personas versadas en la materia conocerán también otras configuraciones.
- 25 **[0113]** Los cables de fibra óptica que contienen fibras ópticas de acuerdo con lo indicado en este documento pueden desplegarse de diversas formas, por ejemplo, como cables de derivación, cables de distribución, cables de alimentación, cables troncales y cables de conexión, y cada uno de ellos puede estar sujeto a diferentes requisitos de funcionamiento (por ejemplo, rango de temperaturas, resistencia al aplastamiento, resistencia a la radiación UV, y radio de curvatura mínimo).
- 30 **[0114]** Dichos cables de fibra óptica pueden instalarse en el interior de conductos, micro conductos, cámaras de aire o patinillos. A modo de ejemplo, un cable de fibra óptica se puede instalar en un conducto o micro conducto existente mediante tracción o soplado (por ejemplo, utilizando aire comprimido). Un ejemplo de método de instalación de cable se describe en la solicitud de patente estadounidense N° 2007/0263960 correspondiente a un sistema de cable de comunicaciones y método de instalación del mismo (Lock et al.), y en la solicitud de patente estadounidense N° 12/200,095 correspondiente a un cable de comunicaciones modificado ferulizado previamente y método de instalación, presentada el 28 de agosto de 2008, (Griffioen et al.), las cuales quedan incorporadas en su totalidad al presente documento por referencia.
- 35 **[0115]** Como ya se ha señalado, los tubos de protección que contienen fibras ópticas (por ejemplo, fibras sueltas o en cinta) pueden estar trenzados (por ejemplo, en torno a un elemento de refuerzo central). En este tipo de configuraciones, la funda protectora exterior del cable de fibra óptica puede tener una superficie exterior con textura que varíe periódicamente en sentido longitudinal a lo largo del cable, de una forma que suponga una repetición de la forma trenzada de los tubos de protección subyacentes. El perfil con textura del revestimiento protector exterior puede mejorar el rendimiento de soplado del cable de fibra óptica. La superficie con textura reduce la superficie de contacto entre el cable y el conducto o micro conducto e incrementa la fricción entre el medio de soplado (por ejemplo, aire) y el cable. La funda protectora exterior puede estar fabricada con un material con un bajo coeficiente de fricción, lo que puede facilitar su instalación por soplado. Por otra parte, la funda protectora exterior puede estar equipada con un lubricante, para facilitar aún más la instalación por soplado.
- 40 **[0116]** En general, para conseguir un rendimiento satisfactorio del soplado a larga distancia (por ejemplo, de entre unos 3.000 a 5.000 pies o más), el diámetro exterior del cable de una fibra óptica no debería ser de más de un setenta a ochenta por ciento del diámetro interior del conducto o micro conducto.
- 45 **[0117]** También puede utilizarse el aire comprimido para instalar las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención en un sistema de fibra soplado por aire, instalándose una red de cables o micro conductos no rellenos con anterioridad a la instalación de las fibras ópticas. Posteriormente pueden introducirse por soplado las fibras ópticas en los cables instalados, en la medida necesaria para soportar los requisitos cambiantes de la red.
- 50 **[0118]** Además, los cables de fibra óptica pueden enterrarse directamente en el suelo o, como si fuesen un cable aéreo, suspenderse de un poste o pilono. Un cable aéreo puede ser autoportante o estar fijado o anclado a un soporte (por ejemplo, un cable de apoyo u otro cable). Entre los ejemplos de cables aéreos de fibra óptica se encuentran los cables aéreos autoportantes (OPGW), los cables dieléctricos autoportantes (ADSS), cables dieléctricos suspendidos (AD-Lash), y cables tipo en ocho, los cuales son perfectamente conocidos por cualquier persona versada en la materia. (Los cables en ocho y de otros diseños pueden enterrarse directamente o instalarse
- 55

en conductos, y puede incluir opcionalmente un elemento generador de tonos, como un cable metálico, de forma que puedan encontrarse con un detector de metales.

5 **[0119]** Asimismo, aunque las fibras ópticas pueden protegerse adicionalmente mediante una funda de cable exterior, la propia fibra óptica pueden reforzarse adicionalmente de forma que la fibra óptica pueda insertarse en el interior de un cable conector múltiple, lo que permite la canalización individual de las fibras ópticas individuales.

[0120] Para utilizar eficazmente las fibras ópticas de la presente invención en un sistema de transmisión, se requieren conexiones en diversos puntos de la red. Normalmente, las conexiones de fibra óptica se efectúan mediante empalme por fusión, empalme mecánico o conectores mecánicos.

10 **[0121]** Los terminales de acoplamiento de los conectores pueden instalarse en los extremos de la fibra, bien in situ (en el emplazamiento de la fibra) o en fábrica, con anterioridad a su instalación en la red. Los terminales de los conectores se acoplan in situ para conectar las fibras entre sí o para conectar las fibras a los componentes pasivos o activos. Por ejemplo, ciertos cables de fibra óptica (por ejemplo, las unidades para bifurcaciones) pueden separar y transportar hasta los conectores las fibras ópticas individuales procedentes de un cable de múltiples fibras ópticas, al mismo tiempo que las protegen.

15 **[0122]** El despliegue de estos cables de fibra óptica puede incluir equipos suplementarios. Por ejemplo, puede incluirse un amplificador para mejorar las señales ópticas. Pueden instalarse módulos de compensación de la dispersión para reducir los efectos de la dispersión cromática y la dispersión del modo de polarización. Igualmente pueden incluirse las cajas de empalmes, pedestales y cuadros de distribución, que pueden protegerse mediante un receptáculo. Entre los elementos adicionales se incluyen, por ejemplo, los conmutadores del terminal remoto, unidades de redes ópticas, bifurcadores ópticos y los conmutadores de la oficina central.

20 **[0123]** Un cable de que contenga fibras ópticas de acuerdo con la presente invención puede desplegarse para su utilización en un sistema de comunicaciones (como en redes o telecomunicaciones). Un sistema de comunicaciones puede incluir arquitecturas de fibra óptica como fiber-to-the-node (FTTN) [fibra hasta el nodo], fiber-to-the-telecommunications enclosure (FTTE) [fibra hasta caja telecomunicaciones], fiber-to-the-curb (FTTC) [fibra hasta acera], fiber-to-the-building (FTTB) [fibra hasta edificio], y fiber-to-the-home (FTTH) [fibra hasta hogar], así como arquitecturas de largo recorrido o metropolitanas.

[0124] Por otra parte, las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención pueden utilizarse para otras aplicaciones, comprendiendo, sin limitación, sensores por fibra óptica o aplicaciones de iluminación (por ejemplo, con fines de iluminación).

30 **[0125]** En la especificación y en las figuras se han descrito realizaciones típicas de la invención. La presente invención no se limita a dichos ejemplos de realización. A menos que se especifique en otro sentido, se han utilizado términos específicos en un sentido genérico y descriptivo, y no con fines de limitación.

REIVINDICACIONES

5 1. Fibra óptica monomodo con pérdidas por flexión reducidas, que tiene un perfil de índice de refracción medido según radios que se extienden desde el centro de la fibra hacia un revestimiento óptico externo, comprendiendo dicha fibra:

- un núcleo central con un radio r_1 y una diferencia de índice positiva Δn_1 con el revestimiento óptico;
- un revestimiento intermedio con un radio r_2 y una diferencia de índice positiva Δn_2 con el revestimiento óptico inferior a la diferencia de índice Δn_1 del núcleo, donde Δn_2 está comprendida entre -0.1×10^{-3} y 0.6×10^{-3} ;
- 10 - un canal deprimido con un radio r_3 y una diferencia de índice negativa Δn_a con el revestimiento óptico; donde la integral de volumen del canal deprimido (V_{13}), definida como

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3,$$

está comprendida entre $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y donde la integral de superficie del canal deprimido (V_{03}), definida como

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3,$$

15 está comprendida entre $-55.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $-30.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, y preferiblemente, la integral de superficie del canal deprimido (V_{02}) está comprendida entre $-42.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $-32.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, donde la fibra tiene un diámetro de campo de modo nominal MFD comprendido entre $8.6 \mu\text{m}$ y $9.5 \mu\text{m}$ para una longitud de onda de 1310 nanómetros, y, para una longitud de onda de 1550 nanómetros, unas pérdidas por flexión inferiores a 0.15 dB/vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros; y

20 una longitud de onda de corte del cable igual o inferior a 1260 nanómetros, definida como la longitud de onda para la que la atenuación del modo LP11 es superior o igual a 19.3 dB tras la propagación a lo largo de veintidós metros de fibra.

25 2. Fibra según la reivindicación 1, donde:

- la integral de superficie del núcleo central (V_{01}), definida como

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1,$$

30 está comprendida entre $19.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$, y preferiblemente entre $20.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ y $23.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$.

3. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, donde la integral de volumen del canal deprimido (V_{13}) está comprendida entre $-1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

35 4. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente una longitud de onda de corte efectiva λ_{ceff} superior a 1300 nanómetros, siendo la longitud de onda de corte efectiva la longitud de onda para la cual la señal óptica pasa a ser monomodo tras su propagación a lo largo de dos metros de fibra.

40 5. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, que incluye adicionalmente una longitud de onda de corte comprendida entre 1240 nanómetros y 1310 nanómetros.

6. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, que incluye adicionalmente una longitud de onda de corte teórica igual o inferior a 1250 nanómetros, siendo la longitud de onda de corte teórica la longitud de onda a partir de la cual el modo LP11 se propaga en modo de fuga.

45 7. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes cuyo núcleo central presenta un radio (r_1) de entre $3.8 \mu\text{m}$ y $4.35 \mu\text{m}$, y/o el núcleo central tiene una diferencia de índice (Δn_1) con el revestimiento óptico comprendida entre 4.9×10^{-3} y 5.7×10^{-3} .

50 8. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, en la que el revestimiento intermedio tiene un radio (r_2) comprendido entre $8.5 \mu\text{m}$ y $9.7 \mu\text{m}$.

9. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, en la que el canal deprimido tiene un radio (r_3) comprendido entre $13.5 \mu\text{m}$ y $16 \mu\text{m}$, y/o teniendo el canal deprimido una diferencia de índice (Δn_3) con el revestimiento óptico comprendida entre -10.0×10^{-3} y -5.0×10^{-3} .

55 10. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, que incluye adicionalmente una longitud de onda de dispersión cromática cero ZDW de entre 1300 nanómetros y 1324 nanómetros.

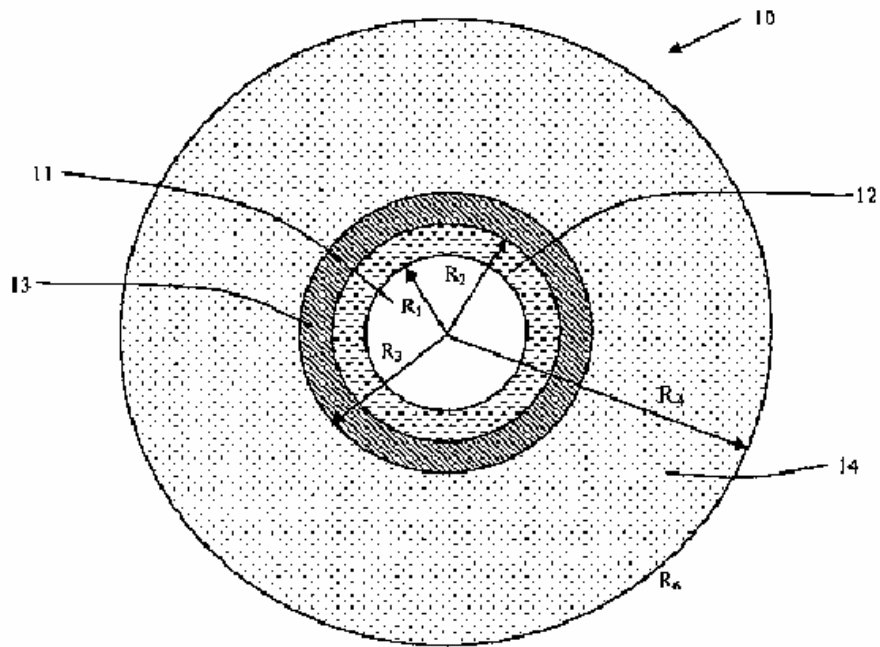
11. Fibra según una o más de las reivindicaciones precedentes, que incluye adicionalmente un valor de gradiente de dispersión cromática cero para la longitud de onda de dispersión cromática cero ZDS inferior a $0.092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$.

5 12. Caja óptica para recepción de al menos una porción de la fibra óptica según una o más de las reivindicaciones precedentes.

13. Caja óptica de acuerdo con la reivindicación 12, en la que la fibra presenta un radio de curvatura inferior a 15 milímetros, y en la que la fibra presenta, preferiblemente, un radio de curvatura de unos 5 milímetros.

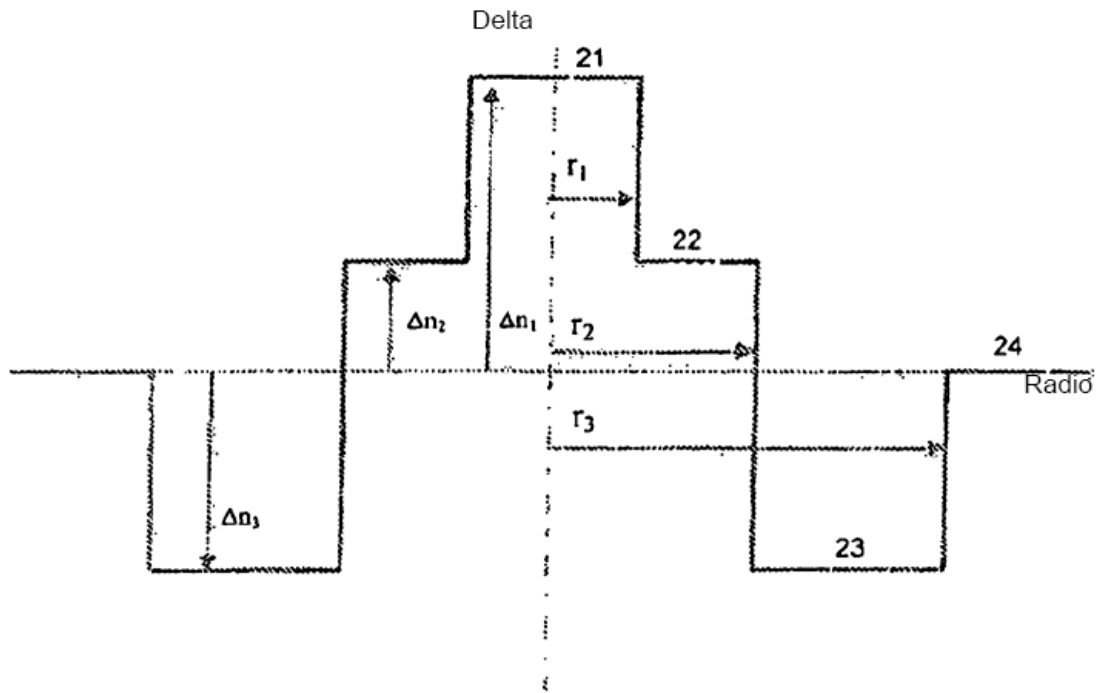
10 14. Sistema de fibra óptica FTTH para abonados domésticos FTTH que comprende al menos una porción de fibra óptica según una o más de las reivindicaciones 1 a 11 precedentes.

FIG. 1



- 10. Fibra
- 11. Núcleo central
- 12. Revestimiento intermedio
- 13. Revestimiento deprimido
- 14. Revestimiento óptico externo (índice de refracción n_0)

Fig. 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 citado en la descripción

- EP 1845399 A [0010] [0013]
- EP 1785754 A [0010]
- JP 1785754 A [0013]
- US 7164835 B [0014]
- US 20070147756 A [0014]
- US 986737 P [0075]
- US 61041484 A, Overton [0075]
- US 4838643 A [0077]
- US 20070127878 A1 [0077]
- US 556895 A [0077]
- US 20070280615 A1 [0077]
- US 697994 A [0077]
- US 7356234 B [0077]
- US 743365 A [0077]
- US 20080152288 A1 [0077]
- US 999333 A [0077]
- US 61101337 A [0077]
- US 20070019915 A1 [0103]
- US 424112 A [0103]
- US 20080145010 A1 [0104]
- US 14658808 A [0107]
- US 20070263960 A [0114]
- US 20009508 A [0114]

10 **Bibliografía de patentes citada en la descripción**

- **W. Zheng et al.** Measurement and System Impact of Multipath Interference From Dispersion Compensating Fiber Modules. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2004, vol. 53, 15-23 [0041]
- **S. Ramachandran et al.** Measurement of Multipath Interference in the Coherent Crosstalk Regime. IEEE Photonics Technology Letters, 2003, vol. 15, 1171-1173 [0041]