

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 824**

51 Int. Cl.:

G02B 6/036 (2006.01)

G02B 6/028 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2011 E 11157416 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2015 EP 2369379**

54 Título: **Fibra óptica de modo único con reducidas pérdidas por curvatura**

30 Prioridad:

17.03.2010 FR 1051879

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

06.07.2015

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)
De Boelelaan 7
1083 HJ Amsterdam, NL**

72 Inventor/es:

**DE MONTMORILLON, LOUIS-ANNE;
RICHARD, SIMON y
SILLARD, PIERRE**

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 539 824 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 de modo único con reducidas pérdidas por curvatura

5 Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere al campo de transmisión por fibra óptica y, más específicamente, a una fibra óptica que tiene pérdidas por curvatura reducidas.

10 Técnica anterior

[0002] Un perfil de índice de refracción de una fibra óptica se describe generalmente como una relación de índice de refracción y el radio de la fibra óptica. Convencionalmente, la distancia r desde el centro de la fibra óptica se traza a lo largo de las abscisas (es decir, el eje x), y la diferencia entre el índice de refracción a una distancia r y el índice de refracción del revestimiento exterior de la fibra óptica se traza a lo largo de las ordenadas (es decir, el eje y). El revestimiento exterior, que funciona como un revestimiento óptico, típicamente tiene un índice de refracción que es sustancialmente constante. Este revestimiento exterior está fabricado típicamente de sílice puro, pero también puede contener uno o más agentes de dopado.

[0003] El perfil del índice de refracción puede tener un perfil en "escalón", un perfil "trapezoidal", un perfil "parabólico" (por ejemplo, un perfil "alfa"), o un perfil de "triangular", que puede ser representado gráficamente de manera respectiva en forma de escalón, trapecio, parábola, o triángulo. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o diseño de la fibra óptica. Restricciones asociadas a la fabricación de fibra óptica puede llevar en la práctica a un perfil que es sensiblemente diferente.

[0004] Una fibra óptica incluye convencionalmente un núcleo óptico, que tiene la función de transmitir y opcionalmente amplificar una señal óptica. Una fibra óptica convencional incluye también típicamente un revestimiento óptico, que confina la señal óptica en el núcleo. Para este propósito, el índice de refracción del núcleo n_c es típicamente mayor que el índice de refracción n_g del revestimiento (es decir, $n_c > n_g$). Como se comprenderá por aquellos que tienen habilidad ordinaria en la técnica, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica de modo único incluye un modo fundamental, típicamente denotado como LP01, que está guiado en el núcleo, y modos secundarios que se guían a una cierta distancia en el núcleo y el revestimiento óptico.

[0005] Fibras ópticas de modo único (SMF) con perfil de índice en escalón índice se utilizan a menudo en los sistemas de transmisión de fibra óptica. Tales fibras ópticas poseen típicamente una dispersión cromática y una pendiente de dispersión cromática que cumplen con las normas de telecomunicaciones específicas.

[0006] Las convencionalmente, denominadas fibras de modo único "estándar" (SSMFs) se utilizan para sistemas de transmisión terrestre. Para facilitar la compatibilidad entre los sistemas ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha definido una referencia estándar ITU-T G.652 con la que una fibra de transmisión óptica estándar

[0007] (es decir, una fibra de modo único estándar o SSMF) debe cumplir. Las recomendaciones de la UIT-T G.652 (11/2009) tiene varios atributos (es decir, A, B, C, y D).

[0008] Entre otras recomendaciones para una fibra de transmisión, el estándar ITU-T G.652 recomienda (i) un diámetro de campo modal (MFD) de valor nominal (por ejemplo, un diámetro de campo modal nominal de entre 8,6 micrómetros (μm) y 9,5 micrómetros y una tolerancia de 60,6 micrómetros a una longitud de onda de 1.310 nanómetros (nm), (ii) una longitud de onda de corte de cable máxima de 1260 nanómetros (nm), (iii) una longitud de onda de dispersión nula (ZDW) comprendida entre 1.300 nanómetros y 1324 nanómetros, y (iv) un máximo de pendiente de dispersión nula (ZDS) de 0,092 picosegundos por nanómetros cuadrados kilómetro ($\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$) (es decir, la pendiente de dispersión cromática a la longitud de onda de dispersión nula es 0,092 $\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ o menor).

[0009] La longitud de onda de corte de cable se mide convencionalmente como la longitud de onda a la que la señal óptica no es ya de modo único después de propagarse más de 22 metros en la fibra óptica, según la definición de subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en la norma IEC 60793-1-44.

[0010] En la mayoría de las circunstancias, el modo secundario que mejor soporta pérdidas por curvatura es el modo LP11. La longitud de onda de corte de cable es por lo tanto la longitud de onda a partir de la cual el modo LP11 es atenuado suficientemente después de propagarse por 22 metros de una fibra óptica. El método propuesto por el estándar ITU-T G.652 considera que la señal óptica es de modo único en tanto que la atenuación del modo LP11 es mayor o igual a 19,3 decibelios (dB). De acuerdo con las recomendaciones de la norma IEC 86A subcomité en la norma IEC 60793-1-44, la longitud de onda de corte de cable se determina impartiendo a la fibra óptica dos bucles que tienen un radio de 40 milímetros (mm), mientras que el resto de la fibra óptica (es decir, 21,5 metros de fibra óptica) se dispone en un mandril que tiene un radio de 140 milímetros.

[0011] Para una fibra dada, se define un valor MAC como el radio del diámetro modal de la fibra óptica para 1.550 nanómetros sobre la longitud de onda de corte efectiva λ_{Ceff} . La longitud de onda de corte se mide convencionalmente como la longitud de onda a la que la señal óptica ya no es de modo único tras propagarse por más de dos metros de fibra, según lo definido por IEC subcomité 86A en la norma IEC 60793-1-44. El valor MAC constituye un parámetro para evaluar el rendimiento de la fibra óptica, en particular para la búsqueda de un compromiso entre el diámetro del campo modal, la longitud de onda de corte efectiva, y pérdidas por curvatura.

5 **[0012]** Fibras ópticas de modo único con pérdidas por curvatura se proponen en los documentos patente europea N° 2116878 (y su equivalente la solicitud de patente de EE.UU. número de publicación 2009/0279835) del mismo titular, patente europea número 2.116.877 (y su equivalente la patente EE.UU. número 7.889.960) del mismo titular, patente europea número 1930753 (y su equivalente la patente EE.UU. número 7.555.186) del mismo titular, patente europea número 1845399 (y su equivalente la patente EE.UU. número 7.587.111) del mismo titular, y la patente europea número 1.785.754 (y su equivalente la patente US nº 7.623.747) del mismo titular. Las patentes europeas números 1.845.399 y 1.785.754 presentan resultados experimentales que muestran una relación entre (i) el valor MAC a una longitud de onda de 1.550 nanómetros y (ii) las pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 1.625 nanómetros con un radio de curvatura de 15 milímetros en una fibra de modo único estándar de índice en escalón.

10 Estos documentos establecen que el valor MAC tiene una influencia sobre las pérdidas por curvatura de la fibra óptica. Además, estos documentos demuestran que las pérdidas por curvatura pueden reducirse mediante la reducción del valor MAC.

15 **[0013]** Desafortunadamente, la reducción del valor MAC mediante la reducción del diámetro modal y/o aumentando la longitud de onda de corte efectiva pueden conducir a incumplimiento de las recomendaciones de la UIT-T G.652, haciendo así una fibra óptica comercialmente incompatible con ciertos sistemas de transmisión.

[0014] En consecuencia, la reducción de las pérdidas por curvatura sin dejar de ser compatible con las recomendaciones de la industria constituye un verdadero reto para aplicaciones de fibra para su utilización en diversos sistemas de fibra óptica (por ejemplo, fibra hasta el hogar (FTTH)).

20 **[0015]** La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) también ha definido las normas relativas a fibras ópticas insensibles a curvatura, en particular, las normas de la UIT-T G.657.A (por ejemplo, la UIT-T G.657.A1 (11/2009) y la UIT-T G.657.A2 (11/2009) sub-categorías) y las normas de la UIT-T G.657.B (por ejemplo, la UIT-T G.657.B2 (11/2009) y la UIT-T G.657.B3 (11/2009) sub-categorías). Las recomendaciones de la UIT-T G.657.A, imponen límites de pérdidas por curvatura, pero buscan, sobre todo, mantener la compatibilidad con las recomendaciones de la UIT-T G.652 (por ejemplo, las recomendaciones de la UIT-T G.652.D), en especial con respecto a diámetro de campo modal y dispersión cromática. Por el contrario, las recomendaciones de la UIT-T G.657.B no imponen compatibilidad con las recomendaciones G.652 del UIT-T, pero imponen límites a pérdidas por curvatura más estrictos que las impuestas por las recomendaciones de la UIT-T G.657.A1.

25 **[0016]** Las anteriormente mencionadas patentes europeas números 1.845.399 y 1.785.754 proponen perfiles de fibra proporcionan pérdidas por curvatura limitadas que satisfacen típicamente las recomendaciones de la UIT-T G.657 A/B.

30 **[0017]** La patente de EE.UU. número 7.187.833 propone perfiles parabólicos para fibras ópticas que incluyen una zanja, en busca de un área efectiva amplia y una baja atenuación en función de la distancia. Sin embargo, la patente de EE.UU. número 7.187.833 no busca reducir las pérdidas de curvatura. Por otra parte, ninguno de los perfiles que se proponen cumple con cualquiera de las recomendaciones de UIT-T G.657.A2/B2/B3. El documento US 2005/0244120 y US 2008/0226241, revelan fibras que tienen perfiles de índice de refracción similares pero diferentes propiedades.

35 **[0018]** La tabla 1 (a continuación) da el máximo aceptable de pérdidas por macro curvatura para las recomendaciones el UIT-T y G.652.D G.657.A1/A2/ B2/ B3 para varios radios de curvatura de 1550 nanómetros y 1625 nanómetros.

TABLA 1

radio (mm)	vueltas	longitud de onda (nm)	pérdidas por macrocurvatura aceptables máximas (dB)				
			G.652.D	G.657.A1	G.657.A2	G.657.B2	G.657.B3
30	100	1550	0,1				
30	100	1625					
15	10	1550		0,25	0,03		
15	10	1625		1	0,1		
10	1	1550		0,75	0,1		0,03
10	1	1625		1,5	0,2		0,1
7,5	1	1550			0,5		0,08
7,5	1	1625			1		0,25
5	1	1550					0,15
5	1	1625					0,45

5 Para las recomendaciones de la UOT G.652 y G.657. A/B, la tabla 2 muestra (i) márgenes de valor nominal y tolerancias asociados con el diámetro de campo modal, (ii) los valores máximos para la longitud de onda de corte de cable, y (iii) los valores para los parámetros de dispersión cromática. Los parámetros de dispersión cromática λ_{0min} y λ_{0max} , designan respectivamente las longitudes de onda de dispersión cromática nula mínima y máxima (ZDW). El parámetro S_{0max} , designa el valor máximo para la pendiente de dispersión cromática nula (ZDS).

TABLA 2

	G.652.D	G.657.A	G.657.B
MFD Nominal (@ 1310 nm) (µm)	8,6-9,5	8,6-9,5	6,3-9,5
Tolerancia (µm)	± 0,6	± 0,4	± 0,4
Longitud de onda de corte de cable (nm)	1260	1260	1260
λ_{Dmax} (nm)	1300	1300	
λ_{Dmax} (nm)	1324	1324	
S_{Dmax} (nm)	0,092	0,092	

[0019] Se han propuesto diversos perfiles de índice de refracción para cumplir con los criterios de las recomendaciones de la UIT-T G.657.A/B.

5 [0020] Por ejemplo, se han propuesto fibras ópticas que tienen un perfil de índice en escalón único. Estos perfiles de índice en escalón presentan valores MAC para garantizar la conformidad con los parámetros de pérdida de curvatura de las recomendaciones G.657.A1 UIT-T. Una fibra óptica tal es vendida por Draka bajo la marca BendBright®. Sin embargo, cuando estos perfiles cumplen con las recomendaciones de la UIT-T G.657.B2, no necesariamente cumplen con las recomendaciones de la UIT-T G.657 o G.652.A, debido a un pequeño diámetro de campo modal.

10 [0021] Además, se han propuesto fibras ópticas que tienen un perfil de índice en escalón con una zanja en el revestimiento para así proporcionar conformidad con las recomendaciones / B2 UIT-T G.657.A2 (por ejemplo, la fibra vendida por Draka bajo la marca BendBright-XS®) o de la UIT-T G.657.B3 (por ejemplo, fibra vendida por la solicitante bajo la marca Bright-Elite ®). A modo de ejemplo, la zanja puede fabricarse mediante adición de dopantes (por ejemplo, flúor o boro) para reducir el índice de refracción. Soluciones de este tipo se conocen como sólido-zanja asistida (STA). La zanja se puede obtener también mediante incorporación huecos (es decir, hueco asistida (AH)) o burbujas (es decir, de burbuja asistida (BA)).

15 [0022] Sin embargo, las soluciones de hoy en día requieren un control estricto sobre el valor MAC, y consecuentemente sobre el diámetro del campo modal y la longitud de onda de corte, con el fin de cumplir con todas las limitaciones de las recomendaciones UIT-T G.657 y G.652, manteniendo al mismo tiempo buenos rendimientos, en particular, reduciendo al mínimo la producción de fibras que no cumplan.

Resumen

25 [0023] En resumen, la presente invención se refiere a una fibra óptica de modo único, que comprende: un núcleo central rodeado por un revestimiento exterior, teniendo dicho núcleo central (i) un radio r_1 , (ii) una diferencia de índice de refracción máxima, positiva Δn_1 con respecto a dicho revestimiento externo, y (iii) un perfil de índice de refracción alfa con un parámetro alfa α comprendido entre 1,5 y 2,5;

30 un revestimiento intermedio situado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento intermedio un radio r_2 y una diferencia del índice de refracción Δn_2 con respecto a dicho revestimiento externo; y

una zanja enterrada situada entre dicho revestimiento intermedio y dicho revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada un radio r_3 y una diferencia de índice de refracción Δn_3 , negativa con respecto a dicho revestimiento externo;

35 en la que dicha fibra óptica tiene (i), para una longitud de onda de 1.310 nanómetros, un diámetro del campo modal con un valor nominal comprendido entre 8,6 micrómetros y 9,5 micrómetros, (ii) una longitud de onda de corte de cable de 1.260 nanómetros o menor, y (iii), para un radio de curvatura de 15 mm a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, pérdidas por curvatura de 0,003 dB/vuelta o menos. La media $((r_2 + r_3)/2)$ de dicho radio r_2 del revestimiento intermedio y dicho radio r_3 de la zanja enterrada, está comprendida entre aproximadamente 9,5 micrómetros y 15,5 micrómetros,

40

[0024] Dicho núcleo central tiene una integral de superficie V_{01} comprendida entre aproximadamente 22×10^{-3} micrómetros y 25×10^{-3} micrómetros, estando definida la integral de superficie V_{01} de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr = r_1 \times \frac{\text{alfa} \cdot \Delta n_1 + \Delta n_2}{\text{alfa} + 1}$$

[0025] Dicha zanja enterrada tiene una integral de superficie V_{03} comprendida entre aproximadamente -45×10^{-3} micrómetros y -25×10^{-3} micrómetros, estando definida la integral de superficie V_{03} integral de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

[0026] En aún otra realización de la presente invención dicho núcleo central tiene una integral de volumen V_{11} comprendida entre aproximadamente $87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $103 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, estando definida la integral de volumen V_{11} de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1^2 \times \frac{\text{alfa} \cdot \Delta n_1 + 2 \cdot \Delta n_2}{\text{alfa} + 2}$$

[0027] En aún otra realización de la presente invención dicha zanja enterrada tiene una integral de volumen V_{13} comprendida entre aproximadamente $-1.020 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, estando definida la integral de volumen V_{13} de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

[0028] En aún otra realización de la presente invención dicho núcleo central tiene un radio r_1 comprendido entre aproximadamente 4,9 micrómetros y 6,6 micrómetros.

[0029] En aún otra realización de la presente invención, la relación (r_1/r_2) entre dicho radio r_1 del núcleo central y dicho radio r_2 de revestimiento intermedio está comprendida entre aproximadamente 0,5 y 0,9.

[0030] En aún otra realización de la presente invención, dicha diferencia de índice de refracción máxima del núcleo central Δn_1 está comprendida entre aproximadamente $5,3 \times 10^{-3}$ y $7,0 \times 10^{-3}$.

[0031] En aún otra realización de la presente invención, dicha diferencia del índice de refracción del revestimiento intermedio Δn_2 está comprendida entre aproximadamente -1×10^{-3} y 1×10^{-3} .

[0032] En aún otra realización de la presente invención, dicha diferencia de índice de refracción de la zanja enterrada Δn_3

Está comprendida entre aproximadamente -10×10^{-3} y $-1,4 \times 10^{-3}$.

[0033] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 15 milímetros a una longitud de onda de

1550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente $0,060 \times 10^{-3}$ dB/vuelta y $1,48 \times 10^{-3}$ dB/vuelta.

[0034] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 10 milímetros a una longitud de onda de

1550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 3×10^{-3} dB/vuelta y 36×10^{-3} dB/vuelta.

[0035] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 7,5 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,01 dB/vuelta y 0,14 dB/vuelta.

[0036] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de

1550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,03 dB/vuelta y 0,41 dB/vuelta.

[0037] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 15 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente $0,5 \times 10^{-3}$ dB/vuelta y $8,9 \times 10^{-3}$ dB/vuelta.

[0038] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 10 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,011 dB/vuelta y 0,112 dB/vuelta.

5 [0039] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 7,5 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,03 dB/vuelta y 0,32 dB/vuelta.

[0040] En aún otra realización de la presente invención, para un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,08 dB/vuelta y 1,13 dB/vuelta.

10 [0041] En aún otra realización de la presente invención, la fibra óptica tiene una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida entre 1.300 nanómetros y 1324 nanómetros, teniendo la fibra óptica a la longitud de onda de dispersión cromática nula una pendiente de dispersión cromática de 0,092 ps/ (nm² • km) o menor.

[0042] En una realización de la presente invención, la fibra óptica cumple con las recomendaciones de la UIT-T G.657.A2.

15 [0043] En otra realización, la presente invención se refiere a una fibra óptica de modo único en la que la fibra óptica cumple con las recomendaciones G.652.D UIT-T; y teniendo la fibra óptica, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, (i) pérdidas por curvatura no mayores de 0,03 dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, (ii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,08 dB/vuelta para un radio de curvatura de 7,5 milímetros, y (iii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,15 dB/vuelta un radio de curvatura de 5 milímetros; y teniendo la fibra óptica, a una longitud de onda de 1625 nanómetros, (i) pérdidas por curvatura no mayores de 0,01 dB/vuelta para un radio de curvatura de 15 milímetros, (ii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,1 dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, (iii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,25 dB/vuelta para un radio de curvatura de 7,5 milímetros, y (iv) pérdidas por curvatura no mayores de de 0,45 dB/vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros.

20 [0044] En otra realización, la presente invención se refiere a una fibra óptica de modo único que comprende: un núcleo central rodeado por un revestimiento exterior, teniendo dicho núcleo central (i) un radio r₁ comprendido entre 4,9 micrómetros y 6,6 micrómetros, (ii) una diferencia máxima de índice de refracción Δn₁ con respecto a dicho revestimiento externo comprendida entre 5,3 x 10⁻³ y 7,0 x 10⁻³, y (iii) un perfil de índice de refracción alfa con un parámetro alfa α comprendido entre 1,5 y 2,5;

30 un revestimiento intermedio situado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento intermedio un radio r₂ y una diferencia de índice de refracción Δn₂ con respecto a dicho revestimiento exterior comprendida entre -1 x 10⁻³ y 1 x 10⁻³; y

una zanja enterrada situada entre dicho revestimiento intermedio y dicho revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada un radio r₃ y una diferencia de índice de refracción Δn₃, negativa con respecto a dicho revestimiento externo comprendida entre -10 x 10⁻³ y -1,4 x 10⁻³.

35 [0045] En una forma preferida de esta realización, la relación (r₁/r₂) entre dicho radio r₁ del núcleo central y dicho radio r₂ del revestimiento intermedio está comprendida entre 0,5 y 0,9; y la media ((r₂ + r₃) / 2) de dicho radio r₂ del revestimiento intermedio y dicho radio r₃ de la zanja enterrada está comprendida entre 9,5 micrómetros y 15,5 micrómetros. En otras formas preferidas de esta realización, la fibra óptica cumple con las recomendaciones de la UIT-T G.657.A1 o las recomendaciones G.657.A2 UIT-T.

40 [0046] En otra realización, la presente invención se refiere a una fibra óptica de modo único que comprende: un núcleo central rodeado por un revestimiento exterior, teniendo dicho núcleo central (i) un radio r₁, (ii) una diferencia de índice de refracción Δn₁ máxima positiva con respecto a dicho revestimiento exterior, (iii) un perfil de índice de refracción alfa con un parámetro alfa α comprendido entre 1,5 y 2,5, (iv) una integral de superficie V₀₁ comprendida entre 22 x 10⁻³ micrómetros y 25 x 10⁻³ micrómetros, y (v) una integral de volumen V₁₁ comprendida entre 87 x 10⁻³ μm² y 103 x 10⁻³ μm², definiéndose la integral de superficie V₀₁ y la integral de volumen V₁₁ de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \frac{\alpha \Delta n_1 + \Delta n_2}{\alpha + 1}$$

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx r_1^2 \times \frac{\alpha \Delta n_1 + 2 \cdot \Delta n_2}{\alpha + 2}$$

50 un revestimiento intermedio situado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento intermedio un radio r₂ y una diferencia de índice de refracción Δn₂ con respecto a dicho revestimiento externo; y

55 una zanja enterrada situada entre dicho revestimiento intermedio y dijo revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada (i) un radio r₃, (ii) una diferencia de índice de refracción Δn₃ negativa con respecto a dicho revestimiento exterior, (iii) una integral de superficie V₀₃ comprendida entre -45 x 10⁻³ micrómetros y -25 x 10⁻³ micrómetros, y (iv) una integral de volumen V₁₃ integral comprendida entre -1020 x 10⁻³ μm² y -500 x 10⁻³ μm², definiéndose dichas integral de superficie V₀₃ e integral de volumen V₁₃ de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

60

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_2$$

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} r^2 \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3^3 - r_2^3) \times \Delta n_2$$

5 **[0047]** Además, la presente invención se refiere a una caja de óptica que comprende, al menos, una porción de la presente fibra óptica, preferiblemente en la que la fibra óptica está dispuesta con un radio de curvatura menor de 15 milímetros, más preferiblemente con un radio de curvatura de aproximadamente 5 milímetros.

10 **[0048]** Además, la presente invención se refiere a un sistema de fibra hasta el hogar (FTTH) que comprende, al menos, una porción de una fibra óptica de acuerdo con la invención.

15 **[0049]** Por consiguiente, en un aspecto, la presente invención abarca una fibra óptica que proporciona una mejor resistencia a pérdidas por curvatura que los límites fijados por las recomendaciones de la UIT-T G.657.A y las recomendaciones de la UIT-T G.657.B, para un diámetro de campo modal (MFD) dado, una longitud de onda de corte de cable dada y una longitud de onda de dispersión nula (ZDW) dada, sin dejar de ser compatible con las recomendaciones de la UIT-T G.652.

20 **[0050]** A este respecto, la presente invención abarca un perfil de fibra óptica que incluye un núcleo central, un revestimiento intermedio, y una zanja enterrada. El núcleo emplea un perfil parabólico (por ejemplo, un perfil de índice en alfa) en lugar de un perfil de índice en escalón. Se ha observado que el perfil de índice parabólico permite reducir las pérdidas por curvatura (por ejemplo, incluso el 30 por ciento) en comparación con un perfil de índice en escalón, con las características de diámetro de campo modal (MFD), longitud de onda de corte de cable, y longitud de onda de dispersión nula (ZDW) permaneciendo por lo demás sustancialmente igual.

25 **[0051]** Una reducción de las pérdidas por curvatura hace que sea posible ampliar la ventana aceptable para valores de MAC alrededor de 0,05, lo que representa una mejora significativa en comparación con diseños anteriores de fibra óptica.

30 **[0052]** La presente invención también proporciona una tolerancia aumentada a variabilidad del proceso de fabricación de la fibra óptica.

35 **[0053]** En una realización particular, la presente invención abarca una fibra óptica de modo único que incluye, desde su centro hacia su periferia, (i) un núcleo central, (ii) un revestimiento intermedio, (iii) una zanja enterrada, y (iv) un revestimiento exterior.

40 **[0054]** El núcleo central tiene un radio r_1 y una diferencia de índice $\Delta n(r)$ positiva con respecto al revestimiento exterior. El radio r_1 del núcleo central está típicamente comprendido entre aproximadamente 4,9 micrómetros y 6,6 micrómetros. La máxima diferencia de índice de refracción Δn_1 entre el núcleo central y el revestimiento exterior está típicamente comprendida entre $5,3 \times 10^{-3}$ y $7,0 \times 10^{-3}$. De manera típica, el núcleo central posee un perfil de índice en alfa donde el parámetro alfa α es igual a $2 \pm 0,5$.

45 **[0055]** El revestimiento intermedio tiene un radio r_2 y una diferencia de índice Δn_2 respecto del revestimiento exterior. La diferencia de índice de refracción Δn_2 entre el revestimiento intermedio y el revestimiento exterior está comprendido típicamente entre -1×10^{-3} y 1×10^{-3} . En una realización ejemplar, la diferencia de índice de refracción del revestimiento intermedio Δn_2 es positiva (por ejemplo, al menos aproximadamente $0,1 \times 10^{-3}$). En una realización ejemplar alternativa, la diferencia de índice de refracción del revestimiento intermedio Δn_2 es negativa (por ejemplo, no mayor de aproximadamente $-0,1 \times 10^{-3}$).

50 **[0056]** La zanja enterrada tiene un radio r_3 y una diferencia de índice Δn_3 negativa respecto del revestimiento exterior. La diferencia de índice de refracción Δn_3 entre la zanja enterrada y el revestimiento exterior está comprendida típicamente entre -10×10^{-3} y $-1,4 \times 10^{-3}$.

55 **[0057]** Una fibra óptica de acuerdo con la presente invención de manera típica tiene (i), a una longitud de onda de 1.310 nanómetros, un diámetro de campo modal con un valor nominal comprendido entre 8,6 micrómetros y 9,5 micrómetros y una tolerancia de 60,4 micrómetros, (ii) una longitud de onda de corte de cable de no mayor de 1.260 nanómetros, y (iii), para un radio de curvatura (es decir, radio de curvatura) de 15 milímetros a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, pérdidas por curvatura no mayores de 0,003 dB/vuelta.

[0058] El núcleo central puede tener una integral de superficie V_{01} comprendida entre aproximadamente 22×10^{-3} micrómetros y 25×10^{-3} micrómetros. La integral de superficie V_{01} del núcleo central se define como sigue:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \frac{\alpha \Delta n_1 + \Delta n_2}{\alpha + 1}$$

[0059] El núcleo central también puede tener una integral de volumen V_{11} comprendida entre aproximadamente $87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $103 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. La integral de volumen V_{11} del núcleo central se define como sigue:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx r_1^2 \times \frac{\alpha \Delta n_1 + 2 \cdot \Delta n_2}{\alpha + 2}$$

[0060] La zanja enterrada puede tener una integral de superficie V_{03} comprendida entre aproximadamente -45×10^{-3} micrómetros y -25×10^{-3} micrómetros. La integral de superficie V_{03} de la zanja enterrada se define como sigue:

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

[0061] La zanja enterrada también puede tener una integral de volumen V_{13} comprendida entre aproximadamente $-1,020 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. La integral de volumen V_{13} de la zanja enterrada se define como sigue:

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{-r_2}^{r_2} r^2 \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_2^3 - r_2^3) \times \Delta n_3$$

[0062] En una realización, la relación entre el radio del núcleo central y el radio del revestimiento intermedio (es decir, r_1/r_2) está comprendida entre 0,5 y 0,9.

[0063] En aún otra realización, el valor medio del radio del revestimiento intermedio y el radio de la zanja enterrada (es decir, $(r_2 + r_3) / 2$) está comprendido entre 9,5 micrómetros y 15,5 micrómetros.

[0064] En aún otra realización, la fibra óptica tiene, a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, (i) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente $0,060 \times 10^{-3}$ dB/vuelta y $1,48 \times 10^{-3}$ dB/vuelta para un radio de curvatura de 15 milímetros, (ii) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 3×10^{-3} dB/vuelta y 36×10^{-3} dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, (iii) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,01 dB/vuelta y 0,14 dB/vuelta para un radio de curvatura de 7,5 milímetros, y/o (iv) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,03 dB/vuelta y 0,41 dB/vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros.

[0065] En aún otra realización, la fibra óptica tiene, a una longitud de onda de 1.625 nanómetros, (i) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente $0,5 \times 10^{-3}$ dB/vuelta y $8,9 \times 10^{-3}$ dB/vuelta para un radio de curvatura de 15 milímetros, (ii) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,011 dB/vuelta y 0,112 dB/vuelta para un radio de curvatura de 10 milímetros, (iii) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,03 dB/vuelta y 0,32 dB/vuelta para un radio de curvatura de 7,5 milímetros, y/o (iv) pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,08 dB/vuelta y 1,13 dB/vuelta para un radio de curvatura de 5 milímetros.

[0066] En aún otra realización, la fibra óptica tiene una longitud de onda de dispersión cromática nula (ZDW) comprendida entre 1300 nanómetros y 1324 nanómetros.

[0067] En aún otra realización, la fibra óptica tiene, a la longitud de onda de dispersión cromática nula, una pendiente de dispersión cromática (ZDS) que es de 0,092 ps/(nm² · km) o menor.

[0068] En otro aspecto, la presente invención abarca una caja de óptica de recibir, al menos, una porción de la fibra óptica. Dentro de la caja de óptica, la fibra óptica puede estar dispuesta con un radio de curvatura menor de 15 milímetros (por ejemplo, un radio de curvatura menor de 5 milímetros).

[0069] En aún otro aspecto, la presente invención abarca un sistema de fibra hasta el hogar (FTTH) que incluye, al menos, una porción de la fibra óptica presente.

[0070] El resumen ilustrativo anterior, así como otros objetivos y/o ventajas ejemplares de la invención, y la manera en que la misma se llevan a cabo, se explica con más detalle en la siguiente descripción detallada y su dibujo adjunto.

Breve descripción del dibujo

[0071] La figura 1 representa un perfil de índice de refracción para una fibra óptica de ejemplo de acuerdo con la presente invención. Este perfil del índice de refracción es un perfil de diseño, que es representativo de perfil teórico de la fibra óptica.

Descripción detallada

[0072] En un aspecto, la presente invención abarca una fibra óptica que incluye (i) un núcleo central, (ii) un revestimiento intermedio, (iii) una zanja enterrada (por ejemplo, un revestimiento deprimido), y (iv) un revestimiento exterior.

[0073] El núcleo central tiene un radio r_1 y una diferencia de índice $\Delta n(r)$ con respecto al revestimiento exterior, que actúa como un revestimiento óptico. El índice de refracción del núcleo tiene típicamente forma parabólica. En consecuencia, la diferencia del índice de refracción $\Delta n(r)$ entre el núcleo central y el revestimiento exterior depende de la distancia r desde el centro de la óptica fibra (por ejemplo, disminuyendo a medida que la distancia desde el

centro de la fibra óptica aumenta). Por lo tanto, el núcleo central define una diferencia de índice de refracción Δn_1 máxima con respecto al revestimiento exterior. Tal como se utiliza aquí, el término "diferencia de índice de refracción" no excluye una diferencia del índice de refracción nula.

[0074] El revestimiento intermedio tiene (i) un radio r_2 y (ii) una diferencia de índice de refracción Δn_2 con respecto al revestimiento exterior que es típicamente constante. La zanja enterrada tiene (i) un radio r_3 y (ii) una diferencia de índice de refracción Δn_3 respecto del revestimiento exterior que es típicamente constante. Tal como se utiliza aquí, el término "zanja enterrada" se utiliza para designar una porción radial de la fibra óptica que tiene un índice de refracción menor que el índice de refracción del revestimiento exterior.

[0075] La diferencia de índice de refracción $\Delta n(r)$ del núcleo central con respecto al revestimiento exterior puede describirse por la siguiente ecuación:

$$\Delta n(r) = \Delta n_1 + (\Delta n_2 - \Delta n_1) \cdot \left(\frac{r}{r_1}\right)^{\alpha}$$

[0076] En el centro del núcleo central (es decir, donde $r = 0$), la diferencia de índice de refracción $\Delta n(r)$ es típicamente la diferencia de índice de refracción máxima Δn_1 . En el borde del núcleo central (es decir, donde $r = r_1$), la diferencia de índice de refracción $\Delta n(r)$ es típicamente igual a la diferencia de índice de refracción Δn_2 del revestimiento intermedio.

[0077] El núcleo central tiene típicamente un perfil de índice alfa. Un perfil de índice de refracción alfa puede ser descrito por un parámetro alfa α (es decir, alfa), que es un parámetro adimensional indicativo de la forma del perfil de índice.

[0078] Una fibra óptica con un perfil de índice alfa tiene típicamente un perfil de núcleo con una simetría de rotación de tal manera que, a lo largo de cualquier dirección radial de la fibra óptica, el valor del índice de refracción disminuye continuamente desde el centro del núcleo de la fibra óptica hacia su periferia.

[0079] Se obtiene una verdadera forma parabólica cuando el parámetro alfa α es igual a 2. Dicho esto, un parámetro alfa α comprendido entre aproximadamente 1,5 y 2,5 todavía proporciona características deseables de la fibra. De acuerdo con ello, el parámetro alfa α a la fibra óptica presente está típicamente comprendido entre 1,5 y 2,5.

[0080] Cada sección del perfil de fibra óptica puede definirse utilizando integrales de superficie e integrales de volumen. El término "superficie" no debe entenderse geoméricamente, sino más bien debe entenderse como un valor que tiene dos dimensiones. Del mismo modo, el término "volumen" no debe entenderse geoméricamente sino que debe ser entendido como un valor que tiene tres dimensiones.

[0081] En consecuencia, el núcleo central puede definir un integral de superficie V_{01} , el revestimiento intermedio puede definir una integral de superficie V_{02} y la zanja enterrada pueden definir a una integral de superficie V_{03} . Como se utiliza en este documento, estas integrales de superficie se definen por las siguientes respectivas ecuaciones:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \frac{\alpha \Delta n_1 + \Delta n_2}{\alpha + 1}$$

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

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

[0082] Además, el núcleo central puede definir una integral de volumen V_{11} , el revestimiento intermedio puede definir una integral de volumen V_{12} y la zanja enterrada pueden definir a un integral de volumen V_{13} . Como se usa aquí, estas integrales de volumen se definen por las respectivas siguientes ecuaciones:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx r_1^2 \times \frac{\alpha \Delta n_1 + 2 \cdot \Delta n_2}{\alpha + 2}$$

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

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

[0083] La tabla 3 (abajo) representa tres perfiles de fibra de núcleo parabólico ejemplares pronosticados de acuerdo con la presente invención. La tabla 3 también representa tres perfiles de fibra de índice en escalón comparativos pronosticados. Los valores de la tabla 3 corresponden a los perfiles de índice de refracción teóricos.

5 **[0084]** La primera columna de la tabla 3 enumera las fibras ópticas ejemplares y comparativas. La segunda columna especifica si el núcleo tiene un perfil índice en escalón o un perfil parabólico. Las siguientes tres columnas proporcionan el radio del núcleo, el radio revestimiento intermedio, y el radio de la zanja enterrada. Las tres últimas columnas muestran diferencias de índice respecto del revestimiento exterior. Las diferencias de índice de refracción de la tabla 3 se han multiplicado por 1.000, que como son los valores de ordenadas en la figura 1. Los valores del índice de refracción se midieron a una longitud de onda de 633 nanómetros.

Tabla 3

	Núcleo	r ₁ (µm)	r ₂ (µm)	r ₃ (µm)	Δn ₁ 1	Δn ₂ 2	Δn ₃ 3
Ejemplo Comparativo 1	Escalón	3,93	9,38	14,72	5,33	0,13	-5,01
Ejemplo	Parábola	5,76	9,38	14,72	6,21	-0,46	-5,01
Ejemplo comparativo 2	Escalón	3,89	9,38	13,34	5,30	0,25	-7,00
Ejemplo 2	Parábola	5,67	9,38	13,34	6,17	-0,27	-7,00
Ejemplo comparativo 3	Escalón	3,91	9,23	14.81	5,14	0,10	-7,15
Ejemplo 3	Parábola	5,73	9,23	14.81	5,98	-0,50	-7,15

10
15 **[0085]** Como se muestra en la tabla 3, el núcleo central tiene típicamente un radio r₁ comprendido entre 5,67 micrómetros y 5,76 micrómetros y una diferencia de índice Δn₁ máxima en relación con el revestimiento exterior comprendida entre 5,98 x 10⁻³ y 6,21 x 10⁻³. El revestimiento intermedio tiene típicamente un radio r₂ comprendido entre 9,23 micrómetros y 9,38 micrómetros y una diferencia de índice Δn₂ respecto del revestimiento exterior comprendida entre -0,5 x 10⁻³ y -0,27 x 10⁻³. La zanja enterrada tiene típicamente un radio r₃ comprendido entre 13,34 micrómetros y 14,81 micrómetros y una diferencia de índice Δn₃ respecto del revestimiento exterior comprendida entre -7,15 x 10⁻³ y -5,01 x 10⁻³.

20 **[0086]** La tabla 4 (debajo) muestra características de transmisión óptica para fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción representados en la tabla 3.

25 **[0087]** Las primera y segunda columnas identifican las fibras ópticas ejemplares y comparativas, así como sus respectivos perfiles de índice de refracción. Las siguientes columnas proporcionan, para cada perfil de fibra óptica, la longitud de onda de corte de cable, la longitud de onda de corte de la fibra, la longitud de onda de dispersión cromática nula (ZDW), la pendiente de dispersión (ZDS) (en ps/(nm².km)) para la longitud de onda de dispersión cromática nula, y los diámetros de campo modal (MFD) en longitudes de onda de 1.310 nanómetros y 1.550 nanómetros, respectivamente.

30 **[0088]** La tabla 5 (abajo) muestra las pérdidas por curvatura (dB/vuelta) de fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción representados en la tabla 3 para las longitudes de onda de 1550 nanómetros y 1.625 nanómetros para radios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7,5 milímetros, y 5 milímetros. Aquí, las diferencias de pérdidas por curvatura entre los valores para un perfil en escalón y los valores para un perfil parabólico se expresan como porcentaje.

Tabla 4

	Núcleo	Longitud de onda de corte de cable (nm)	En fibra (longitud de onda de corte nm)	ZDW (nm)	ZDS (ps/(nm ² -km))	MFD (@ 1310nm) (µm)	MFD (@ 1550 nm) (µm)
Ej. Comp. 1	Escalón	1202	1274	1319	0,087	8,76	9,84
Ej. 1	Parabola	1202	1280	1319	0,090	8,78	9,84
Diferencia Ej. Comp. 1 & Ej. 1	Parábola frente a escalón	0	6	0	0,003	0,02	0,00
Ej. Comp. 2	escalón	1189	1248	1319	0,088	8,80	9,88
Ej. 2	parábola	1189	1255	1319	0,091	8,92	9,88
Diferencia Ej. Comp. 2 & Ej. 2	Parábola frente a escalón	0	7	0	0,003	0,02	0,00

Ej. Comp. 3	escalón	1227	1364	1317	0,089	8,90	9,86
Ej. 3	parábola	1227	1377	1317	0,091	8,92	9,88
Diferencia Ej. Comp. 3 & Ej. 3	Parabola frente a escalón	0	13	0	0,002	0,02	0,00

Tabla 5

	Pérdidas por curvatura (@ 1550 nm) (dB/vuelta)				Pérdidas por curvatura (@ 1625 nm) (dB/vuelta)			
	15 mm radio curvatura	mm radio curvatura	mm radio curvatura	mm radio curvatura	mm radio curvatura	mm radio curvatura	mm radio curvatura	mm radio curvatura
Ej. Comp. 1	0,00089	0,024	0,091	0,22	0,0052	0,071	0,204	0,49
Ej. 1	0,00063	0,018	0,071	0,17	0,0038	0,056	0,162	0,39
Diferencia Ej. Comp. 1 & Ej. 1	-29%	-25%	-22%	-23%	-27%	-21%	-21%	-23%
Ej. Comp. 2	0,00128	0,034	0,134	0,30	0,0073	0,101	0,293	0,67
Ej. 2	0,00090	0,026	0,105	0,25	0,0052	0,079	0,235	0,55
Diferencia Ej. Comp. 2 & Ej. 2	-30%	-24%	-22%	-17%	-29%	-22%	-20%	-18%
Ej. Comp. 3	0,00082	0,012	0,037	0,07	0,0044	0,035	0,082	0,16
Ej. 3	0,00067	0,010	0,031	0,06	0,0036	0,029	0,069	0,14
Diferencia Ej. Comp. 2 & Ej. 3	-18%	-17%	-16%	-14%	-18%	-17%	-16%	-13%

- 5 **[0089]** De acuerdo con las tablas 4 y 5 (arriba), las fibras ópticas presentes pueden tener pérdidas por curvatura que incluso son el 30 por ciento menores que las fibras ópticas comparativas, que tienen un perfil de índice en escalón. Además, las presentes fibras ópticas tienen de manera típica sustancialmente la misma (i) longitud de onda de corte de cable, (ii) longitud de onda de dispersión cromática nula (ZDW), (iii) pendiente de dispersión nula (ZDS), y (iv) diámetro de campo modal (MFD) que las fibras ópticas comparativas.
- 10 **[0090]** Además, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención tiene de manera típica parámetros de transmisión óptica que cumplen las recomendaciones de la UIT-T G.652 y G.657.
- 15 **[0091]** De hecho, como se muestra en la tabla 4 (arriba) y de acuerdo con las recomendaciones ITU-T G.652, las presentes fibras ópticas tienen típicamente (i) un diámetro de campo modal nominal comprendido entre 8,6 micrómetros y 9,5 micrómetros a una longitud de onda de 1310 nanómetros, (ii) una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida entre 1.300 nanómetros y 1324 nanómetros, y (iii) una pendiente de dispersión cromática máxima no mayor de 0,092 ps/(nm²·km) a la longitud de onda de dispersión nula. Además, la fibra óptica presente tiene de manera típica una longitud de onda de corte de cable que está muy por debajo de 1260 nanómetros, el valor máximo permitido por las recomendaciones de las UIT-T G.652 y G.657.
- 20 **[0092]** Es deseable fabricar fibras ópticas que sean adecuadas para la utilización sobre todas las bandas de transmisión utilizados por sistemas ópticos. En particular, es deseable usar la fibra óptica en propagación de modo único de la banda inicial (banda O) (es decir, 1260 nanómetros a 1360 nanómetros) hasta la banda ultra-larga (banda U) (es decir, mayor que 1.625 nanómetros). Una longitud de onda de corte baja facilita la utilización de la fibra óptica en todas las bandas disponibles.
- 25 **[0093]** Mediante la comparación de la tabla 5 y la tabla 1, se puede observar que las pérdidas por curvatura de las presentes fibras ópticas (por ejemplo, ejemplos 1, 2 y 3) por lo general cumplen con los límites establecidos por las recomendaciones UIT-T G.652.D y G.657.A1/A2/B2. Además, las pérdidas por curvatura del ejemplo 3 aún cumplen con los límites más rigurosos establecidos por las recomendaciones de UIT-T G.657.B3.
- 30 **[0094]** Así, con referencia al ejemplo 3, la presente fibra óptica puede tener, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, (i) pérdidas por curvatura no mayores de 0.003 dB/vuelta (por ejemplo, 0,00067 dB/vuelta) para un radio de curvatura de 15 milímetros, (ii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,03 dB/vuelta (por ejemplo, 0,01

dB/vuelta) para un radio de curvatura de 10 milímetros, (iii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,08 dB/vuelta (por ejemplo, 0,031 dB/vuelta) para un radio de curvatura de 7,5 milímetros, y (iv) pérdidas por curvatura no mayores de 0,15 dB/vuelta (por ejemplo, 0,06 dB/vuelta) para un radio de curvatura de 5 milímetros.

5 [0095] Con referencia adicional al ejemplo 3, la fibra óptica presente también puede tener, a una longitud de onda de 1625 nanómetros, (i) pérdidas por curvatura no mayores de 0,01 dB/vuelta (por ejemplo, 0,0036 dB/vuelta) para un radio de curvatura de 15 milímetros, (ii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,1 dB/vuelta (por ejemplo, 0,029 dB/vuelta) para un radio de curvatura de 10 milímetros, (iii) pérdidas por curvatura no mayores de 0,25 dB/vuelta (por ejemplo, 0,069 dB/vuelta) para un radio de curvatura de 7,5 milímetros, y (iv) pérdidas por curvatura no mayores de 0,45 dB/vuelta (por ejemplo, 0,14 dB/vuelta) para un radio de curvatura de 5 milímetros.

10 [0096] La tabla 6 (a continuación) representa doce perfiles de fibra de núcleo parabólico de ejemplo de acuerdo con la presente invención. Téngase en cuenta que los ejemplos 1 a 3 de la tabla 6 son los mismos que en la tabla 3. Los valores de la tabla 6 corresponden a los perfiles de índice de refracción teóricos.

15 [0097] En la primera columna de la tabla 6 se enumeran las fibras ópticas de ejemplo pronosticadas. La segunda columna proporciona el valor del parámetro alfa. Las siguientes tres columnas proporcionan los radios del núcleo, el revestimiento intermedio, y la zanja enterrada. Las siguientes tres columnas proporcionan las diferencias de índice correspondientes respecto del revestimiento óptico. Las siguientes dos columnas proporcionan valores para $(r_2 + r_3)/2$ y para la relación r_1/r_2 , respectivamente. Finalmente, las últimas seis columnas proporcionan valores respectivos para la integrales de superficie y volumen V_{01} , V_{11} , V_{02} , V_{12} , V_{03} y V_{13} . Como anteriormente, las diferencias de índice de refracción y las integrales de la tabla 6 se han multiplicado por 1000. Los valores de índice de refracción se miden a una longitud de onda de 633 nanómetros.

Tabla 6

	alfa	r1 (μm)	r2 (μm)	r3 (μm)	Δn1	Δn2	Δn3	(r2+r3)/2 (μm)	r1/r2	V01 (μm)	V11 (μm ²)	V02 (μm)	V12 (μm ²)	V03 (μm)	V13 (μm ²)
Ej. 1	2,00	5,76	9,38	14,72	6,21	-0,46	-5,01	12,65	0,61	23	95	-1,7	-25,2	-27	-645
Ej. 2	2,00	5,67	9,38	13,34	6,17	-0,27	-7,00	11,36	0,60	23	95	-1,0	-15,1	-28	-630
Ej. 3	2,00	5,73	9,23	14,81	5,96	-0,50	-7,15	12,02	0,62	22	90	-1,8	-26,2	-40	-959
Ej.4	2,47	5,95	9,05	15,17	5,34	-0,29	-5,21	12,11	0,66	22	100	-0,9	-13,5	-32	-772
Ej.5	1,73	6,12	8,16	12,86	6,35	-0,83	-5,45	10,56	0,75	23	94	-1,7	-24,2	-26	-552
Ej.6	1,69	6,56	9,34	18,40	6,17	-0,94	-2,93	13,87	3,70	23	100	-2,6	41,5	-27	-736
Ej.7	1,55	5,21	8,16	-16,49	6,53	0,90	-2,79	11,33	0,85	23	91	0,9	9,7	-29	-650
Ej.8	1,84	5,28	8,83	23,65	6,30	0,44	-1,48	15,34	0,77	22	91	0,7	8,3	-25	-773
Ej.9	1,72	5,98	8,82	15,82	6,75	-0,53	-4,30	12,32	0,68	24	101	-1,5	-22,3	-30	-742
Ej.10	1,77	6,08	9,21	14,46	6,49	-0,72	-8,10	11,84	0,66	24	99	-2,3	-34,5	-43	-1007
Ej. 11	2,3	5,12	7,53	14,93	6,42	0,42	-5,32	11,23	0,68	24	95	1,0	12,8	-39	-884
Ej. 12	1,7	6,06	11,04	15,00	6,31	-0,35	-9,05	13,02	0,55	23	100	-1,7	-29,8	-36	-933

25 [0098] De acuerdo con lo anterior, las presentes fibras ópticas tienen típicamente las siguientes propiedades: (i) un radio de núcleo central r_1 comprendido entre 4,9 micrómetros y 6,6 micrómetros; (ii) una relación entre el radio del núcleo central y el radio del revestimiento intermedio (es decir, r_1/r_2), comprendida entre 0,5 y 0,9; (iii) un valor medio del radio del revestimiento intermedio y el radio de la zanja enterrada (es decir, $(r_2 + r_3)/2$), comprendida entre 9,5 micrómetros y 15,5 micrómetros; (iv) una máxima diferencia de índice de refracción del núcleo central Δn_1 comprendida entre $5,3 \times 10^{-3}$ y $7,0 \times 10^{-3}$; (v) una diferencia de índice de refracción de revestimiento intermedio Δn_2 comprendida entre -1×10^{-3} y 1×10^{-3} ; (vi) una diferencia de índice de refracción de zanja enterrada Δn_3 comprendida entre -10×10^{-3} y $-1,4 \times 10^{-3}$; (vii) una integral de superficie del núcleo central V_{01} comprendida entre 22×10^{-3} micrómetros y 25×10^{-3} micrómetros; (viii) una integral de volumen del núcleo central V_{11} comprendida entre $87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $103 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; (ix) una integral de superficie de zanja enterrada V_{03} comprendida entre -45×10^{-3} micrómetros y -25×10^{-3} micrómetros; y (x) una integral de volumen de zanja enterrada V_{13} comprendida entre $-1.020 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $-500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

35 [0099] Estas propiedades de fibra óptica se proporcionan como rangos de ejemplo en la tabla 7 (a continuación):

Tabla 7

r_1	r_1/r_2	$(r_2+r_3)/2$	n_1	n_2	n_3	V_{01}	V_{11}	V_{03}	V_{13}
[4,9;6,6]	[0,5;0,9]	[9,5;15,5]	[5,3;7,0]	[-1,+1]	[-10,-1,5]	[22,25]	[87,103]	[-45,-25]	[-1020,-500]

40 [0100] La tabla 8 (a continuación) muestra las características de transmisión óptica de fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción representados en la tabla 6.

Tabla 8

	Longitud de onda de corte de cable (nm)	Longitud de onda de corte en fibra (nm)	ZDW (nm)	ZDS (ps/(nm ² ·km))	MFD (@ 1310 nm) (μm)	MFD (@ 1550 nm) (μm)
Ej. 1	1202	1280	1319	0,090	8,78	9,84
Ej. 2	1188	1255	1319	0,091	8,82	9,88
Ej. 3	1227	1377	1317	0,091	8,82	9,86
Ej. 4	1244	1251	1307	0,092	9,32	10,3
Ej. 5	1161	1347	1312	0,092	8,68	9,63
Ej. 6	1260	1222	1316	0,091	9,01	10,1
Ej. 7	1179	1374	1312	0,092	8,6	9,56
Ej. 8	1257	1270	1324	0,089	8,81	9,95
Ej. 9	1251	1353	1320	0,091	8,64	9,66
Ej.10	1268	1351	1316	0,092	8,7	9,69
Ej.11	1259	1414	1313	0,092	8,6	9,54
Ej.12	1258	1318	1324	0,089	8,98	10,1

5

[0101] La tabla 9 (a continuación) muestra las pérdidas por curvatura para las fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción representados en la tabla 6.

10

Tabla 9

	Pérdidas por curvatura (@ 1550 nm) (dB/vuelta)				Pérdidas por curvatura (@ 1625 nm) (dB/vuelta)			
	15 mm radio de curvatura	10 mm radio de curvatura	7,5 mm radio de curvatura	5 mm radio de curvatura	15 mm radio de curvatura	10 mm radio de curvatura	7,5 mm radio de curvatura	5 mm radio de curvatura
Ej. 1	0,00063	0,018	0,07	0,17	0,0038	0,056	0,16	0,39
Ej. 2	0,00090	0,026	0,11	0,25	0,0052	0,079	0,23	0,55
Ej. 3	0,00067	0,010	0,03	0,06	0,0036	0,029	0,07	0,14
Ej. 4	0,00112	0,020	0,06	0,14	0,0055	0,054	0,14	0,31
Ej. 5	0,00148	0,036	0,14	0,31	0,0089	0,112	0,32	0,7
Ej. 6	0,00043	0,009	0,03	0,39	0,0023	0,027	0,07	0,23
Ej. 7	0,00143	0,024	0,08	0,19	0,0082	0,072	0,18	0,45
Ej. 8	0,00054	0,008	0,04	0,41	0,0027	0,028	0,10	1,13
Ej. 9	0,00000	0,005	0,02	0,07	0,0007	0,018	0,06	0,16
Ej. 10	0,00009	0,003	0,01	0,03	0,0006	0,011	0,03	0,08
Ej. 11	0,00006	0,003	0,01	0,04	0,0005	0,011	0,04	0,1
Ej. 12	0,00028	0,008	0,03	0,08	0,0016	0,024	0,07	0,17

- 5 **[0102]** Una fibra óptica de acuerdo con la presente invención puede obtenerse mediante estirado de una preforma. La preforma puede estar constituida por un tubo de vidrio de alta calidad (sílice pura) que forma una porción del revestimiento exterior. Este tubo puede entonces ser sobre-revestido para aumentar su diámetro antes del estirado de la fibra dentro de una torre de estirado de fibra. Con el fin de fabricar la preforma, el tubo se monta generalmente horizontal y se mantiene por ambos extremos mediante barras de vidrio de un torno de fabricación de. A continuación, se hace girar el tubo y se calienta localmente para depositar los componentes que determinan la composición de la preforma. Aquellos con experiencia ordinaria en la técnica apreciarán que la composición de la preforma determina las características ópticas de la fibra final.
- 10 **[0103]** En este sentido, el núcleo central, el revestimiento intermedio, y la zanja enterrada se obtienen típicamente por deposición química en fase de vapor (CVD) sobre un tubo de sílice. El revestimiento exterior está formado de manera típica a partir del tubo de sílice y el sobre-revestimiento de dicho tubo de sílice. El revestimiento exterior puede estar hecho de sílice sin dopar (por ejemplo, natural) o dopado.
- 15 **[0104]** No obstante lo anterior, para conformar la preforma pueden utilizarse otras técnicas. Por ejemplo, pueden emplearse deposición axial en fase de vapor (VAD), deposición externa en fase vapor (OVD), y/o deposición química en fase de vapor asistida por plasma (PCVD).
- 20 **[0105]** A modo de ejemplo, la zanja enterrada puede formarse usando deposición química en fase de vapor asistida por plasma (PCVD), permitiendo de este modo incorporar a la sílice una gran cantidad de flúor; el dopado de la sílice con flúor, facilita la formación de una zanja profundamente enterrada. Alternativamente, la zanja enterrada puede formarse mediante la incorporación en la sílice de micro-huecos o micro-burbujas.
- 25 **[0106]** Las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención son muy adecuadas para su utilización en diversos sistemas de comunicación óptica. Debido a que las presentes fibras ópticas tienen típicamente bajas pérdidas por curvatura, las presentes fibras ópticas son particularmente adecuadas para las instalaciones (por ejemplo, sistemas fibra hasta el domicilio (FTTH)) donde la fibra óptica se somete a significativas tensiones por curvatura (por ejemplo, debido a la miniaturización de las cajas ópticas o de fijación por medio de grapas). En consecuencia, las presentes fibras ópticas pueden disponerse en cajas ópticas que son particularmente compactas. Por ejemplo, dentro de una caja de óptica, la óptica fibra puede estar dispuesta con un radio de curvatura (es decir, radio de curvatura) menor de 15 milímetros (por ejemplo, un radio de curvatura menor de 5 milímetros).
- 30 **[0107]** Los presentes fibras ópticas son apropiadas para muchos sistemas de comunicación óptica, porque las presentes fibras ópticas son típicamente compatibles con fibras ópticas convencionales. Por ejemplo, las presentes fibras ópticas son típicamente compatibles con fibras ópticas convencionales con respecto al diámetro de campo modal, facilitando así el buen acoplamiento entre fibras.
- 35 **[0108]** En la memoria descriptiva y/o figura, se han descrito realizaciones típicas de la invención. La presente invención no está limitada a tales ejemplos de realización. El uso del término "y/o" incluye cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados. La figura es una representación esquemática y por tanto no se dibuja necesariamente a escala. A menos que se indique lo contrario, los términos específicos se han utilizado en un sentido genérico y descriptivo y no con fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Fibra óptica de modo único, que comprende:

- 5 un núcleo central rodeado por un revestimiento exterior, teniendo dicho núcleo central (i) un radio r_1 , (ii) una diferencia de índice de refracción máxima, positiva Δn_1 con respecto a dicho revestimiento externo, y (iii) un perfil de índice de refracción alfa con un parámetro alfa α comprendido entre 1,5 y 2,5;
- 10 un revestimiento intermedio situado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento intermedio un radio r_2 y una diferencia del índice de refracción Δn_2 con respecto a dicho revestimiento externo; y
- 15 una zanja enterrada situada entre dicho revestimiento intermedio y dicho revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada un radio r_3 y una diferencia de índice de refracción Δn_3 negativa con respecto a dicho revestimiento externo;
- 20 en la que dicha fibra óptica tiene (i), para una longitud de onda de 1.310 nanómetros, un diámetro del campo modal con un valor nominal comprendido entre 8,2 micrómetros y 9,9 micrómetros, (ii) una longitud de onda de corte de cable de 1.260 nanómetros o menor, y (iii), para un radio de curvatura de 15 mm para una longitud de onda de 1.550 nanómetros, pérdidas por curvatura de 0,003 dB/vuelta o menos, en el que la media $((r_2 + r_3) / 2)$ de dicho radio r_2 del revestimiento intermedio y dicho radio r_3 de la zanja enterrada está comprendida entre aproximadamente 9,5 micrómetros y 15,5 micrómetros,
- en la que dicho núcleo central tiene una integral de superficie V_{01} comprendida entre aproximadamente 22×10^{-3} micrómetros y 25×10^{-3} micrómetros, estando definida la integral de superficie V_{01} de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \frac{\alpha \cdot \Delta n_1 + \Delta n_2}{\alpha + 1}$$

- 25 en la que dicha zanja enterrada tiene una integral de superficie V_{03} integral comprendida entre aproximadamente -45×10^{-3} micrómetros y -25×10^{-3} micrómetros, estando definida la integral de superficie V_{03} integral de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

- 30 2. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicho núcleo central tiene una integral de volumen V_{11} comprendida entre aproximadamente $87 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ y $103 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$, estando definida la integral de volumen V_{11} de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx r_1^2 \times \frac{\alpha \cdot \Delta n_1 + 2 \cdot \Delta n_2}{\alpha + 2}$$

- 35 3. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha zanja enterrada tiene una integral de volumen V_{13} comprendida entre aproximadamente $-1.020 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ y $-500 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$, estando definida dicha integral de volumen V_{13} de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

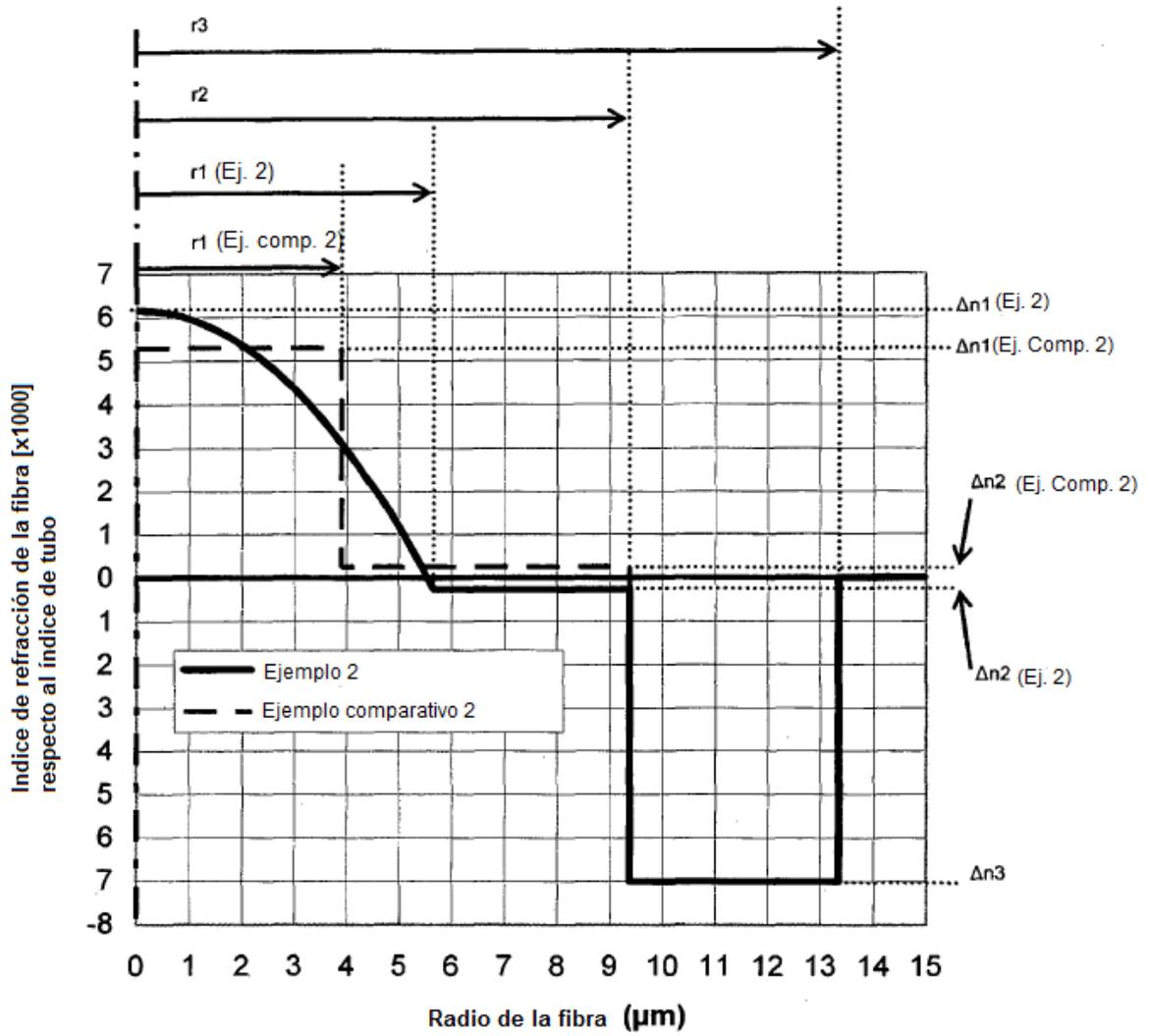
- 40 4. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicho núcleo central tiene un radio r_1 comprendido entre aproximadamente 4,9 micrómetros y 6,6 micrómetros y/o en la que dicha diferencia máxima de índice de refracción del núcleo central Δn_1 está comprendida entre aproximadamente $5,3 \times 10^{-3}$ y $7,0 \times 10^{-3}$.

- 45 5. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la relación (r_1/r_2) entre dicho radio r_1 del núcleo central y dicho radio r_2 del revestimiento intermedio está comprendida entre aproximadamente 0,5 y 0,9 y/o en la que dicha diferencia de índice de refracción del revestimiento intermedio Δn_2 está comprendida entre aproximadamente -1×10^{-3} y 1×10^{-3} .

- 50 6. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha diferencia de índice de refracción de la zanja enterrada Δn_3 está comprendida entre aproximadamente -10×10^{-3} y $-1,4 \times 10^{-3}$.

ES 2 539 824 T3

7. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, para un radio de curvatura de 15 milímetros a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente $0,060 \times 10^{-3}$ dB/vuelta y $1,48 \times 10^{-3}$ dB/vuelta.
- 5 8. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, para un radio de curvatura de 10 milímetros a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 3×10^{-3} dB/vuelta y 36×10^{-3} dB/vuelta.
- 10 9. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, para un radio de curvatura de 7,5 milímetros a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,01 dB/ vuelta y 0,14 dB/vuelta.
- 15 10. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, para un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura comprendidas entre aproximadamente 0,03 dB/vuelta y 0,41 dB/vuelta.
- 15 11. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la fibra óptica tiene una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida entre 1.300 nanómetros y 1.324 nanómetros y/o una pendiente de dispersión cromática de $0,092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ o menor.
- 20 12. Caja óptica que comprende, al menos, una porción de una fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, preferiblemente en la que la fibra óptica está dispuesta con un radio de curvatura menor de 15 milímetros, más preferiblemente con un radio de curvatura de aproximadamente 5 milímetros.
- 25 13. Sistema de fibra hasta el hogar (FTTH) que comprende, al menos, una porción de una fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.



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

- EP 2116878 A [0012]
- US 20090279835 A [0012]
- EP 2116877 A [0012]
- US 7889960 B [0012]
- EP 1930753 A [0012]
- US 7555186 B [0012]
- EP 1845399 A [0012] [0016]
- US 7587111 B [0012]
- EP 1785754 A [0012] [0016]
- US 7623747 B [0012]
- US 7187833 B [0017]
- US 20050244120 A [0017]
- US 20080226241 A [0017]