

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 740 637**

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: **07.05.2012 E 12166927 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2019 EP 2642322**

54 Título: **Fibra óptica de múltiples modos resistente a curvatura**

30 Prioridad:

23.03.2012 US 201213428520

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

06.02.2020

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)
Schieweg 9
2627 AN Delft, NL**

72 Inventor/es:

**MOLIN, DENIS;
SILLARD, PIERRE;
BIGOT-ASTRUC, MARIANNE;
GOOIJER, FRANS y
ACHTEN, FRANCISCUS JOHANNES**

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 740 637 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 múltiples modos resistente a curvatura

5 Campo de la invención

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

10 Antecedentes de la invención

[0002] Una fibra óptica (es decir, una fibra de vidrio rodeada típicamente por una o mayor capas de recubrimiento) incluye convencionalmente un núcleo de fibra óptica, que transmite y/o amplifica una señal óptica, y un revestimiento óptico, que confina la señal óptica dentro de la fibra. Por consiguiente, el índice de refracción del núcleo n_c es típicamente mayor que el índice de refracción del revestimiento óptico n_g (es decir, $n_c > n_g$).

15 **[0003]** Las fibras ópticas de múltiples modos se utilizan comúnmente para aplicaciones de corta distancia que requieren un ancho de banda amplio, tales como redes locales o LAN (red de área local). El núcleo de una fibra óptica de múltiples modos tiene típicamente un diámetro de entre aproximadamente 50 micrómetros y 62,5 micrómetros, mientras que el núcleo de una fibra óptica de modo único típicamente tiene un diámetro de entre aproximadamente 6 micrómetros y 9 micrómetros. En una fibra óptica de múltiples modos, para una longitud de onda dada, varios modos ópticos se propagan simultáneamente a lo largo de la fibra óptica.

20 **[0004]** Las fibras ópticas de múltiples modos han sido objeto de estandarización internacional según las recomendaciones de UIT-T G.651.1 (julio de 2007), que, en particular, definen criterios (por ejemplo, ancho de banda, apertura numérica y diámetro del núcleo) que se relacionan con los requisitos de compatibilidad para fibra óptica.

25 **[0005]** La apertura numérica (NA) de una fibra óptica se puede aproximar mediante la siguiente ecuación:

$$NA = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

30 donde n_c es el índice de refracción del núcleo central y n_g es el índice de refracción del revestimiento exterior (por ejemplo, un revestimiento óptico exterior).

[0006] Para fibras ópticas, el perfil de índice de refracción se clasifica generalmente de acuerdo con el aspecto gráfico de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra óptica. Convencionalmente, la distancia r al centro de la fibra óptica se muestra en el eje x , y la diferencia entre el índice de refracción (en el radio r) y el índice de refracción del revestimiento exterior de la fibra óptica (por ejemplo, un revestimiento exterior óptico) se muestra en el eje y . El perfil de índice de refracción se conoce como perfil de "escalón", perfil "trapezoidal", perfil "parabólico" o perfil "triangular" para los gráficos que tienen las formas respectivas de un escalón, un trapecio, una parábola o un triángulo. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o establecido de la fibra óptica. Sin embargo, las restricciones en la fabricación de la fibra óptica pueden dar lugar a un perfil real ligeramente diferente.

40 **[0007]** Para el mismo medio de propagación (es decir, en una fibra óptica de múltiples modos con índice escalonado), los diferentes modos tienen diferentes tiempos de retardo de grupo. Esta diferencia en los tiempos de retardo de grupo da como resultado un retardo temporal (es decir, un retraso) entre los impulsos que se propagan a lo largo de diferentes desplazamientos radiales de la fibra óptica. Este retraso provoca un ensanchamiento del pulso de luz resultante. El ensanchamiento del pulso de luz aumenta el riesgo de que el pulso se superponga a un pulso de salida, lo que reduce el ancho de banda (es decir, la velocidad de datos) soportada por la fibra óptica. El ancho de banda, por lo tanto, está vinculado al tiempo de retardo de grupo de los modos ópticos que se propagan en el núcleo de múltiples modos de la fibra óptica. Por lo tanto, para garantizar un ancho de banda amplio, es deseable que los tiempos de retardo de grupo de todos los modos sean idénticos. Dicho de otra manera, la dispersión intermodal debe ser cero, o al menos estar minimizada, para una longitud de onda determinada.

50 **[0008]** Para reducir la dispersión intermodal, las fibras ópticas de múltiples modos utilizadas en telecomunicaciones generalmente tienen un núcleo con un índice de refracción que disminuye progresivamente desde el centro de la fibra óptica hasta su interfaz con un revestimiento (es decir, un perfil de núcleo "alfa"). Dicha fibra óptica se ha utilizado durante varios años y sus características se han descrito en "Teoría de múltiples modos de fibras de núcleo gradual" por D. Gloge *et al.*, Bell system Technical Journal 1973, pp. 1563-1578, y resumido en "Teoría comprensiva de la dispersión en fibras ópticas de índice gradual" por G. Yabre, Journal of Lightwave Technology, febrero de 2000, vol. 18, Nº 2, paginas. 166 a177.

55 **[0009]** Un perfil de índice gradual (es decir, un perfil de índice alfa) se puede describir mediante una relación entre el valor de índice de refracción n y la distancia r desde el centro de la fibra óptica de acuerdo con la siguiente ecuación:

60
$$n = n \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde,

$\alpha \geq 1$, siendo α un parámetro no dimensional indicativo de la forma del perfil de índice;

n_1 es el índice de refracción máximo del núcleo de fibra óptica;
 a es el radio del núcleo de la fibra óptica;
 y

5
$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_0^2)}{2n_1^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde n_0 es el índice de refracción mínimo del núcleo de múltiples modos, que puede corresponder al índice de refracción del revestimiento exterior (la mayoría de las veces hecho de sílice).

10 **[0010]** Una fibra óptica de múltiples modos con un índice gradual (es decir, un perfil alfa), por tanto, tiene un perfil central con una simetría rotacional tal 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 hasta su periferia. Cuando una señal de luz de múltiples modos se propaga en un tal núcleo de índice gradual, los diferentes modos ópticos experimentan diferentes medios de propagación (es decir, debido a los índices de refracción variables). Esto, a su vez, afecta la velocidad de propagación de cada modo óptico de manera diferente. Por lo tanto, al ajustar el valor del parámetro α , es posible obtener un tiempo de retardo de grupo que es virtualmente igual para todos los modos. Dicho de otra manera, el perfil de índice de refracción se puede modificar para reducir o incluso eliminar la dispersión intermodal.

[0011] Típicamente, las fibras ópticas de múltiples modos con aperturas numéricas más altas tienen pérdidas por macro-curvatura más bajas (denominadas en lo sucesivo "pérdidas por curvatura").

20 **[0012]** En general, se espera que las fibras ópticas de múltiples modos convencionales que tienen un diámetro de núcleo central mayor de 50 micrómetros proporcionen suficiente resistencia a curvatura para muchas aplicaciones. Dichas fibras ópticas ejemplares pueden tener un diámetro de núcleo central de 62,5 micrómetros y una apertura numérica de 0,275 o un diámetro de núcleo central de 80 micrómetros y una apertura numérica de 0,3.

25 **[0013]** Sin embargo, para radios de curvatura más cerrados (por ejemplo, 5 milímetros), tales fibras ópticas exhiben pérdidas por curvatura significativas que pueden ser críticas para la transmisión a alta velocidad (por ejemplo, en dispositivos electrónicos de consumo compactos).

[0014] La publicación internacional n° WO 2010/036684 trata de fibras ópticas de núcleo grande. Sin embargo, las fibras ópticas descritas tienen un radio de núcleo central a y una diferencia relativa del índice de refracción Δ , tal que:

30
$$\frac{\sqrt{2\Delta}}{a} < 5,1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$$

[0015] Los núcleos centrales de las fibras ópticas descritas no proporcionan pérdidas por microcurvatura reducidas, porque, para un valor Δ dado, la ampliación del núcleo central dará como resultado mayores pérdidas por micro-curvatura. Además, las relaciones entre el radio central revelado a y la diferencia relativa del índice de refracción Δ conducen a pérdidas por micro-curvatura indeseablemente grandes.

35 **[0016]** Por lo tanto, existe necesidad de una fibra óptica de múltiples modos que tenga pérdidas por curvatura reducidas y un diámetro central mayor de 50 micrómetros.

[0017] El documento WO2011/109263 describe una fibra óptica de múltiples modos de alta apertura numérica que comprende un núcleo de índice gradual, un revestimiento interior, un revestimiento exterior y una zanja deprimida dispuesta entre el revestimiento interior y el exterior.

40

Sumario de la invención

45 **[0018]** En un primer aspecto, la presente invención se define por la reivindicación independiente 1 y se refiere a una fibra óptica de múltiples modos, que comprende:

* un núcleo central rodeado por un revestimiento óptico exterior que tiene un valor de índice de refracción n_{cl} , teniendo dicho núcleo central (i) un radio exterior r_1 de aproximadamente 36 micrómetros o mayor, (ii) un valor de índice de refracción máximo n_0 , (iii) un perfil de índice gradual con respecto a dicho revestimiento óptico exterior, y (iv) una diferencia de índice de refracción relativa:

50
$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2}$$

* un revestimiento interior dispuesto entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento interior un radio exterior r_2 ; y

55 * una zanja deprimida dispuesta entre dicho revestimiento interior y dicho revestimiento óptico exterior, teniendo dicha zanja deprimida un radio exterior r_3 , una diferencia de índice de refracción Δn_3 con respecto a dicho revestimiento óptico exterior, y un volumen V_3 ;

* donde $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es aproximadamente $5.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor.

[0019] Según otra realización de dicho primer aspecto, $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o superior.

[0020] De acuerdo con otra realización más de dicho primer aspecto, dicho volumen V^3 de zanja deprimida está comprendido entre aproximadamente $-1710\%-\mu\text{m}^2$ y $-635\%-\mu\text{m}^2$.

[0021] Según otra realización más de dicho primer aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 36 micrómetros o mayor; y dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es $-670\%-\mu\text{m}^2$ o mayor.

[0022] Según otra realización más de dicho primer aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 37 micrómetros o mayor; y es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$ o mayor.

5 **[0023]** De acuerdo con otra realización más de dicho primer aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 38 micrómetros o mayor; y dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es de $-750\%-\mu\text{m}^2$ o mayor.

[0024] Según otra realización más de dicho primer aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 39 micrómetros o mayor; y $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor.

10 **[0025]** Según otra realización más de dicho primer aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 39 micrómetros o mayor; y dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es $-790\%-\mu\text{m}^2$ o mayor.

[0026] Según otra realización más de dicho primer aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 40 micrómetros o mayor.

[0027] En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a una fibra óptica de múltiples modos, que comprende:

15 * un núcleo central rodeado por un revestimiento óptico exterior que tiene un valor de índice de refracción n_{cl} , teniendo dicho núcleo central

(i) un radio exterior r_1 de entre aproximadamente 35 micrómetros y 50 micrómetros, (ii) un valor de índice de refracción máximo n_0 , (iii) un perfil de índice gradual con respecto a dicho revestimiento óptico exterior, y (iv) un índice de refracción relativo diferencia:

$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2}$$

20 * un revestimiento interior dispuesto entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento interior un radio exterior r_2 ; y

* una zanja deprimida dispuesta entre dicho revestimiento interior y dicho revestimiento óptico exterior, teniendo dicha zanja deprimida un radio exterior r_3 , una diferencia de índice de refracción Δn_3 con respecto a dicho revestimiento óptico exterior de entre aproximadamente -10×10^{-3} y -5×10^{-3} , y un volumen V_3 ;

25 * en donde $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor;

* en donde la diferencia $r_2 - r_1$ entre el radio exterior r_2 de dicho revestimiento interno y el radio exterior r_1 de dicho núcleo central está comprendido entre aproximadamente 1 micrómetro y 3 micrómetros;

30 * en donde la diferencia $r_3 - r_2$ entre el radio exterior r_3 de dicha zanja deprimida y el radio exterior r_2 de dicho revestimiento interior está comprendido entre aproximadamente 3 micrómetros y 7 micrómetros; y

* en donde, para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,3 dB.

[0028] Según otra realización aún de dicho segundo aspecto, $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor.

[0029] Según otra realización aún de dicho segundo aspecto, es de aproximadamente $5,9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor.

35 **[0030]** De acuerdo con otra realización aún de dicho segundo aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 36 micrómetros o mayor; y $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor.

[0031] Según otra realización aún de dicho segundo aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 37 micrómetros o mayor; y dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es de $-710\%-\mu\text{m}^2$ o mayor.

[0032] Según otra realización aún de dicho segundo aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 38 micrómetros o mayor; y $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor.

40 **[0033]** De acuerdo con otra realización aún de dicho segundo aspecto, dicho radio r_1 del núcleo central está comprendido entre aproximadamente 39 micrómetros y 41 micrómetros.

[0034] De acuerdo con otra realización aún de dicho segundo aspecto, dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es de $-650\%-\mu\text{m}^2$ o mayor.

45 **[0035]** Según otra realización todavía de dicho segundo aspecto, el radio r_1 de dicho núcleo central es de 40 micrómetros o mayor; y dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es $-830\%-\mu\text{m}^2$ o mayor.

[0036] Según otra realización aún de dicho segundo aspecto, la diferencia $r_2 - r_1$ entre dicho radio exterior r_2 de dicho revestimiento interior y dicho radio r_1 exterior del núcleo central es inferior a 2 micrómetros.

50 **[0037]** Según otra realización aún de dicho segundo aspecto, la diferencia $r_3 - r_2$ entre dicho radio exterior r_3 de dicha zanja deprimida y dicho radio exterior r_2 del revestimiento interior es inferior a 5 micrómetros.

[0038] Según otra realización aún de dicho segundo aspecto, para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,2 dB.

55 **[0039]** En un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un sistema óptico que comprende la fibra óptica de acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención.

[0040] De acuerdo con ello, en un aspecto, la presente invención abarca una fibra óptica que incluye un núcleo central rodeado por un revestimiento exterior (por ejemplo, un revestimiento óptico exterior). El revestimiento exterior tiene un valor de índice de refracción n_{cl} . El núcleo central tiene un radio exterior r_1 , un valor de índice de refracción

máximo n_0 y un perfil de índice gradual con respecto al revestimiento exterior. El núcleo central también tiene una diferencia de índice de refracción relativa:

$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2}$$

5 **[0041]** El radio exterior del núcleo central r_1 está típicamente comprendido entre aproximadamente 30 micrómetros y 50 micrómetros (por ejemplo, 35 micrómetros a 50 micrómetros). Típicamente, el radio exterior del núcleo central r_1 y la diferencia relativa del índice de refracción satisfacen la siguiente desigualdad:

$$\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1} \geq 5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$$

10 **[0042]** Entre el núcleo central y el revestimiento exterior se coloca un revestimiento interior (por ejemplo, rodeando inmediatamente el núcleo central). El revestimiento interior tiene un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción Δn_2 con respecto al revestimiento exterior. Típicamente, la diferencia $r_2 - r_1$ entre el radio exterior r_2 del revestimiento interior y el radio exterior r_1 del núcleo central está entre aproximadamente 1 micrómetro y 3 micrómetros.

15 **[0043]** Entre el revestimiento interior y el revestimiento exterior se dispone una zanja deprimida (por ejemplo, inmediatamente alrededor del revestimiento interior). La zanja deprimida tiene un radio exterior r_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Δn_3 con respecto al revestimiento exterior. Típicamente, la diferencia $r_3 - r_2$ entre el radio exterior r_3 de la zanja deprimida y el radio exterior r_2 del revestimiento interior está entre aproximadamente 3 micrómetros y 7 micrómetros. La diferencia del índice de refracción de la zanja deprimida Δn_3 se encuentra generalmente comprendida entre aproximadamente -10×10^{-3} y -5×10^{-3} .

20 **[0044]** En una realización ejemplar, para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura de menos de aproximadamente 0,3 dB.

25 **[0045]** En otra realización ejemplar, para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura de menos de aproximadamente 0,2 dB.

[0046] En otra realización ejemplar, el radio r_1 del núcleo central y la diferencia de índice de refracción relativa Δ satisfacen la siguiente desigualdad:

30
$$\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1} \geq 5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$$

[0047] En otra realización ejemplar, el radio r_1 del núcleo central está comprendido entre aproximadamente 35 micrómetros y 50 micrómetros (por ejemplo, entre aproximadamente 35 micrómetros y 45 micrómetros).

35 **[0048]** En otra realización ejemplar, el radio r_1 del núcleo central es mayor que aproximadamente 36 micrómetros (por ejemplo, aproximadamente 37 micrómetros o mayor).

[0049] En otra realización ejemplar, el radio r_1 del núcleo central es mayor que aproximadamente 38 micrómetros (por ejemplo, entre aproximadamente 39 micrómetros y 41 micrómetros).

40 **[0050]** En otra realización ejemplar, el diámetro exterior del núcleo central (es decir, $2r_1$) es de aproximadamente 62,5 micrómetros.

[0051] En otra realización ejemplar, el diámetro exterior del núcleo central (es decir, $2r_1$) es de aproximadamente 80 micrómetros (es decir, el radio exterior r_1 es de aproximadamente 40 micrómetros).

[0052] En otro aspecto, la presente invención abarca un sistema óptico de múltiples modos que incluye una fibra óptica de acuerdo con lo anterior.

45 **[0053]** El resumen ilustrativo anterior, así como otros objetivos y/o ventajas ejemplares de la invención, y la manera en que se llevan a cabo, se explican adicionalmente en la siguiente descripción detallada y sus dibujos adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

[0054]

50 La figura 1 representa gráficamente el perfil de índice de refracción de una fibra óptica ejemplar de acuerdo con la presente invención.

La figura 2 representa gráficamente las pérdidas por curvatura en función del radio de flexión (es decir, el radio de curvatura) para una fibra óptica ejemplar de acuerdo con la presente invención y una fibra óptica comparativa.

55 La figura 3 representa gráficamente las pérdidas por curvatura en función del radio de flexión (es decir, el radio de curvatura) para otra fibra óptica ejemplar según la presente invención y otra fibra óptica comparativa.

La figura 4 muestra un cable de fibra óptica sometido a una prueba de pinzamiento.

Descripción detallada de la invención

60 **[0055]** La presente invención se refiere a una fibra óptica de múltiples modos, que comprende: un núcleo central rodeado por un revestimiento óptico exterior que tiene un valor de índice de refracción n_{cl} , teniendo dicho núcleo central (i) un radio exterior r_1 de aproximadamente 35 micrómetros o mayor, (ii) un valor de índice de refracción

máximo n_0 , (iii) un perfil de índice gradual con respecto a dicho revestimiento óptico exterior, y (iv) una diferencia de índice de refracción relativa: $\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2}$, un revestimiento interior dispuesto entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento interior un radio exterior r_2 ; y una zanja deprimida situada entre dicho revestimiento interior y dicho revestimiento óptico exterior, teniendo dicha zanja deprimida un radio exterior r_3 , una diferencia de índice de refracción Δn_3 con respecto a dicho revestimiento óptico exterior, y un volumen V_3 ; en donde $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor y en donde dicho volumen V_3 de zanja deprimida es de $-635\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor.

En realizaciones de la presente invención:

- $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor, incluso mayor preferiblemente de aproximadamente $5,7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$

- o mayor, incluso mayor preferiblemente aproximadamente $5,9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor;

- el radio exterior del núcleo central r_1 es igual o inferior a 50 micrómetros;

- el radio r_1 del núcleo central es 36 micrómetros o mayor, preferiblemente 37 micrómetros o mayor, más preferiblemente 38 micrómetros o mayor, incluso mayor preferiblemente 39 micrómetros o mayor, incluso preferiblemente 40 micrómetros o mayor, más preferiblemente entre aproximadamente 39 micrómetros y 41 micrómetros

- dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es $-650\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor, preferiblemente V_3 es $-670\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor, preferiblemente V_3 es $-710\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor, más preferiblemente V_3 es $-750\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor, incluso mayor preferiblemente, V_3 es $-790\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor, aún más preferiblemente V_3 es $-830\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor;

- la diferencia $r_2 - r_1$ entre el radio exterior r_2 de dicho revestimiento interno y el radio exterior r_1 de dicho núcleo central se encuentra comprendido entre aproximadamente 1 micrómetro y 3 micrómetros, preferiblemente igual o inferior a 2 micrómetros;

- la diferencia $r_3 - r_2$ entre el radio exterior r_3 de dicha zanja deprimida y el radio exterior r_2 de dicho revestimiento interior se encuentra comprendida entre aproximadamente 3 micrómetros y 7 micrómetros, preferiblemente igual o inferior a 5 micrómetros;

- la diferencia del índice de refracción Δn con respecto a dicho revestimiento óptico exterior de entre -10×10^{-3} y -5×10^{-3} ;

- para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,3 dB, preferiblemente menores de aproximadamente 0,2 dB.

[0056] Además, la invención se refiere a una fibra óptica de múltiples modos, que comprende: un núcleo central rodeado por un revestimiento óptico exterior que tiene un valor de índice de refracción n_{cl} , teniendo dicho núcleo central (i) un radio exterior r_1 de entre aproximadamente 35 micrómetros y 50 micrómetros, (ii) un valor de índice de refracción máximo n_0 , (iii) un perfil de índice gradual con respecto a dicho revestimiento óptico exterior, y (iv) una diferencia de índice de refracción relativa: $\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2}$ en donde $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ o mayor ,

un revestimiento interior dispuesto entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento interior un radio exterior r_2 ; en donde la diferencia $r_2 - r_1$ entre el radio exterior r_2 de dicho revestimiento interno y el radio exterior r_1 de dicho núcleo central está entre aproximadamente 1 micrómetro y 3 micrómetros; una zanja deprimida dispuesta entre dicho revestimiento interior y dicho revestimiento óptico exterior, teniendo dicha zanja deprimida un radio exterior r_3 , una diferencia de índice de refracción Δn_3 con respecto a dicho revestimiento óptico exterior de entre aproximadamente -10×10^{-3} y -5×10^{-3} , y un volumen V_3 ; en donde la diferencia $r_3 - r_2$ entre dicho radio exterior r_3 de la zanja deprimida y dicho radio exterior r_2 del revestimiento interior está comprendido entre aproximadamente 3 micrómetros y 7 micrómetros; y en donde dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es $-635\% \cdot \mu\text{m}^2$ o mayor; en donde, por dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,3 dB.

[0057] Además, la invención se refiere a un sistema óptico que comprende la fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

[0058] La presente invención abarca una fibra óptica de múltiples modos que tiene reducidas pérdidas por curvatura y un diámetro de núcleo central mayor de 50 micrómetros.

[0059] La figura 1 representa el perfil de índice de refracción de una fibra óptica ejemplar de acuerdo con la presente invención. El ejemplo de fibra óptica es una fibra óptica de múltiples modos que incluye un núcleo central (por ejemplo, un núcleo interior) rodeado por un revestimiento exterior (por ejemplo, un revestimiento óptico exterior).

[0060] Como se muestra, la fibra óptica ejemplar también incluye un revestimiento interior dispuesto entre el núcleo central y el revestimiento exterior (por ejemplo, rodeando inmediatamente el núcleo central). Una zanja deprimida se coloca entre el revestimiento interior y el revestimiento óptico exterior (por ejemplo, rodeando inmediatamente el revestimiento interior).

[0061] El núcleo central tiene un radio exterior r_1 que está típicamente comprendido entre 30 micrómetros y 50 micrómetros, más típicamente 35 micrómetros o mayor (por ejemplo, entre aproximadamente 39 micrómetros y 41 micrómetros). El núcleo central también tiene un perfil de índice gradual en relación con el revestimiento exterior. El radio exterior r_1 del núcleo central y la diferencia relativa del índice de refracción satisfacen típicamente la siguiente desigualdad

$$\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1} \geq 5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$$

[0062] La diferencia del índice de refracción relativa del núcleo central se define mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2}$$

5 donde n_0 es el valor del índice de refracción máximo del núcleo central (que generalmente corresponde al valor del índice de refracción del centro del núcleo central) y n_{cl} es el valor del índice de refracción del revestimiento exterior.

[0063] El revestimiento interior de la fibra óptica tiene un radio exterior r_2 . Típicamente, la diferencia r_2-r_1 entre el radio exterior r_2 del revestimiento interior y el radio exterior r_1 del núcleo central (por ejemplo, la distancia radial entre el radio exterior del núcleo central y el radio interno de la zanja deprimida) está comprendido entre 1 micrómetro y 3 micrómetros (por ejemplo, alrededor de 2 micrómetros o menos).

10 **[0064]** La zanja deprimida tiene un radio exterior r_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Δn_3 con respecto al revestimiento exterior. Típicamente, la diferencia r_3-r_2 entre el radio exterior r_3 de la zanja deprimida y el radio exterior r_2 del revestimiento interior (por ejemplo, el ancho de la zanja deprimida) está entre 3 micrómetros y 7 micrómetros (por ejemplo, aproximadamente 5 micrómetros o menos, tal como aproximadamente 4 micrómetros). La diferencia del índice de refracción de la zanja deprimida Δn_3 (por ejemplo, la profundidad de la zanja deprimida) se encuentra generalmente comprendida entre -10×10^{-3} y -5×10^{-3} .

15 **[0065]** La presente fibra óptica de múltiples modos proporciona un excelente rendimiento de macro curvatura. Por ejemplo, para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica generalmente tiene pérdidas por curvatura de menos de 0,3 dB (por ejemplo, menos de 0,2 dB). En otra realización ejemplar, por un giro alrededor de un radio de curvatura de 3 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura de menos de aproximadamente 0,5 dB.

20 **[0066]** Fibras ópticas de múltiples modos ejemplares de acuerdo con la presente invención incluyen un núcleo central que tiene un diámetro exterior de 62,5 micrómetros (es decir, una FMM de 62,5 micrómetros) y muestra una resistencia a curvatura mejorada. Además, las fibras ópticas de múltiples modos ejemplares incluyen un núcleo central que tiene un diámetro exterior de 80 micrómetros (es decir, un FMM de 80 micrómetros) y muestran una resistencia a curvatura mejorada.

25 **[0067]** Como se indicó, las fibras ópticas de múltiples modos ejemplares incluyen un núcleo central que tiene un perfil de índice gradual en relación con el revestimiento exterior (es decir, fibras de múltiples modos de índice gradual o FMM-IG). La estructura modal FMM-IG es la siguiente. En fibras ópticas de múltiples modos con el siguiente perfil de índice de refracción:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} & \text{para } r \leq a \\ n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} & \text{para } r \geq a \end{cases}$$

(Ecuación 3)

35 donde α está comprendida entre 1,9 y 2,1, $\Delta \geq 1,2$ por ciento y $a > 30$ micrómetros, los índices efectivos de los modos guiados se pueden aproximar bastante de la siguiente manera:

$$\beta = kn_1 \cdot \left[1 - 2\Delta \left(\frac{m}{M}\right)^{\alpha/\alpha+2} \right]^{1/2}$$

(Ecuación 4)

40 donde m es el orden del modo, y

$$M = akn_1 \cdot \sqrt{\Delta \cdot \frac{\alpha}{\alpha+2}}$$

45 donde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ y $\lambda = 850$ nanómetros

[0068] Para α aproximadamente igual a 2, la separación entre modos es algo independiente del orden de modo m y es solo una función del radio a del núcleo central y la altura del núcleo central Δ :

$$|\Delta\beta| \propto \frac{\sqrt{2\Delta}}{a} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

50 **[0069]** Para una FMM-IG de 50 micrones con $\Delta = 0,9$ por ciento y $a = 26$ micrómetros (como umbral), este espaciado de modo (es decir $\Delta\beta$) es igual a $5,1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$. Las tolerancias aceptables con respecto al diámetro del núcleo (por ejemplo, 62,5 micrómetros) y la apertura numérica (por ejemplo, $\pm 0,015$) se pueden tener en cuenta en vista de las restricciones en el proceso de fabricación.

[0070] Sin estar ligado a ninguna teoría particular, los presentes inventores han encontrado que la separación de modo afecta las pérdidas por micro-curvatura. De hecho, considerando los tres ejemplos de la tabla 1, valores mayores de $\frac{\sqrt{2\Delta}}{a}$ (es decir, el criterio de separación de modo) se relacionan con menores pérdidas por micro-curvatura. En la tabla 1, la diferencia del índice de refracción relativa Δ se da como un porcentaje.

5

Tabla 1

Δ (%)	r_1 (μm)	Criterio μm^{-1}	Pérdidas por micro-curvatura @ 850 nm (dB/km)	Espesor revestimiento primario (μm)
1,928	38,8	$5,06 \times 10^{-3}$	27,5	27,935
2,059	39,2	$5,18 \times 10^{-3}$	20,3	27,93
2,601	38,4	$5,94 \times 10^{-3}$	12,1	27,75

[0071] Como se muestra en la tabla 1, un aumento en el criterio de $5,06 \times 10^{-3}$ a $5,94 \times 10^{-3}$ reduce las pérdidas de micro curvatura dos veces. Por consiguiente, las fibras ópticas ejemplares de acuerdo con la presente invención tienen un radio r_1 del núcleo central y una diferencia de índice de refracción relativa Δ , tal que $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es mayor o igual a $5,1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ (por ejemplo, mayor o igual a $5,2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$), como mayor o igual que $5,4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ (por ejemplo, mayor o igual que $5,6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$). Además, las fibras ópticas ejemplares pueden tener un radio exterior central r_1 y una diferencia de índice de refracción relativa Δ , tal que $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ sea mayor o igual a $5,7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$ (por ejemplo, mayor que o igual a $5,9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^{-1}$).

10

15

[0072] La micro curvatura se puede analizar de acuerdo con el ensayo de tambor de papel de lija de diámetro fijo IEC (es decir, IEC TR62221, método B, papel de lija de grado 40 micrómetros), que proporciona una situación de estrés de micro curvatura que afecta las fibras de múltiples modos incluso a temperatura ambiente. El informe técnico de sensibilidad a micro curvatura IEC TR62221 y los procedimientos de prueba estándar, incluyendo IEC TR62221, método B (tambor de papel de lija de diámetro fijo) y método D (tejido Panamá).

20

[0073] Para satisfacer la relación anterior entre el radio r_1 del núcleo central y la diferencia del índice de refracción relativa Δ , radios del núcleo central más grandes demandan valores mayores para Δ , como se ilustra en la tabla 2. En la tabla 2, la diferencia del índice de refracción relativo Δ se da como porcentaje.

Tabla 2

a (μm)	Δ (%)	NA
25	> 0,81	> 0,185
31,25	> 1,27	> 0,232
40	> 2,08	> 0,297
50	> 3,25	> 0,373

25

[0074] Típicamente, las pérdidas por macro curvatura son menores para las fibras ópticas con tales aperturas numéricas grandes. Además, como se ilustra en las figuras 2 y 3, la inclusión de una zanja deprimida entre el núcleo central y el revestimiento exterior mejora aún más el comportamiento de macro curvatura de estas FMM con grandes radios centrales.

30

[0075] La figura 2 representa gráficamente las pérdidas por curvatura en función del radio de doblado (es decir, el radio de curvatura) para una fibra óptica asistida por zanja ejemplar de acuerdo con la presente invención (es decir, el ejemplo 2) y una fibra óptica comparativa de acuerdo con las recomendaciones UIT-T G.651.1 (es decir, ejemplo 1).

35

[0076] La figura 3 representa gráficamente las pérdidas por curvatura en función del radio de doblado (es decir, el radio de curvatura) para otra fibra óptica asistida por zanja ejemplar de acuerdo con la presente invención (es decir, el ejemplo 4) y otra fibra óptica comparativa bajo un determinado lanzamiento de flujo circundante (EFL) (es decir, ejemplo 3).

[0077] El flujo circundante (EF) en las fibras ópticas antes de doblar cumple los siguientes criterios de la tabla 3:

40

Tabla 3

Radio (µm)	EF mínimo	EF máximo
10	0,2185	0,0635
15	0,38	0,2215
20	0,5249	0,4999

[0078] Para las FMM de 62,5 micrómetros y 50 micrómetros, las recomendaciones de UIT-T G.651.1 y las plantillas de EF en los documentos IEC 61280-4-1 proporcionan las condiciones en el EF para las mediciones de pérdida de macro curvatura.

[0079] El comparativo óptico (Ejemplos 1 y 3) y los ejemplos de fibras ópticas (Ejemplos 2 y 4) de las figuras 2 y 3 corresponden a fibras ópticas que tienen los parámetros enumerados en la tabla 4.

Tabla 4

Ejemplos	a(µm)	NA	Anchura zanja (µm)	Profundidad zanja (x10 ⁻³)	Pérdidas por curvatura 2 vueltas de 5mm (dB)
1	31,25	0,27	Ninguna	Ninguna	0,739
2	31,25	0,27	4	-8	0,138
3	41	0,31	Ninguna	Ninguna	1,060
4	41	0,31	4	-8	0,253

[0080] Como se indicó, los ejemplos 2 y 4 son fibras ópticas de acuerdo con la presente invención que tienen una zanja deprimida de una anchura apropiada (es decir, r_3-r_2) y profundidad (es decir, Δn_3). Los ejemplos 1 y 3 son fibras ópticas comparativas que carecen de zanja deprimida. Las pérdidas por curvatura se miden a una longitud de onda de 850 nanómetros.

[0081] Como se demuestra en la tabla 4 y se representa en las figuras 2 y 3, la zanja deprimida facilita el logro de pérdidas por curvatura reducidas. De hecho, las fibras ópticas ejemplares mostraron pérdidas por curvatura que fueron más de cuatro veces menores que las pérdidas por curvatura de las fibras ópticas comparativas (es decir, una reducción a menos de un cuarto de las pérdidas por curvatura de las fibras ópticas comparativas).

[0082] Las ventajas de las fibras ópticas de núcleo grande que tienen pérdidas por curvatura reducidas se describen más detalladamente en "80mm-core graded-index MMF for consumer electronic devices" por D. Molin, M. Bigot-Astruc y P. Sillard, Optoelectronic Interconnects XII, 2 de febrero de 2012, Actas de SPIE vol. 8267.

[0083] Las fibras ópticas ejemplares de acuerdo con la presente invención incluyen zanjias deprimidas que tienen volúmenes particulares V_3 . Como se usa en este documento, el volumen V de una zanja deprimida se define mediante la siguiente ecuación:

$$V = 2\pi \times \int_{r_{int}}^{r_{ext}} \Delta\%(r) \times r \times dr$$

en donde r_{int} y r_{ext} son el radio interior y el radio exterior de la zanja deprimida, respectivamente, y $\Delta\%$ (r) es la diferencia del índice de refracción de la zanja deprimida con respecto al revestimiento exterior expresada en términos de porcentaje. Los expertos en la técnica reconocerán que esta ecuación se puede utilizar para trincheras rectangulares y no rectangulares. Si una zanja deprimida tiene una forma rectangular (es decir, un perfil de índice escalonado), la ecuación (anterior) se puede simplificar a la siguiente ecuación:

$$V = \Delta\% \times 2\pi \times (r_{ext}^2 - r_{int}^2)$$

donde r_{ext} y r_{int} son el radio exterior y el radio interior de la zanja deprimida, respectivamente, y el $\Delta\%$ es la diferencia del índice de refracción de la zanja deprimida con respecto al revestimiento exterior expresada como porcentaje.

[0084] En este sentido, las fibras ópticas ejemplares incluyen una zanja deprimida que tiene un volumen V_3 de entre aproximadamente $-1710\%-\mu\text{m}^2$ y $-210\%-\mu\text{m}^2$ (por ejemplo, un volumen V_3 de aproximadamente $-830\%-\mu\text{m}^2$). Típicamente, el volumen V_3 de la zanja deprimida es de aproximadamente $-790\%-\mu\text{m}^2$ o mayor (por ejemplo, un volumen V_3 de aproximadamente $-750\%-\mu\text{m}^2$ o mayor). Más típicamente, el volumen V_3 de la zanja deprimida es aproximadamente $-710\%-\mu\text{m}^2$ o mayor (por ejemplo, un volumen V_3 de aproximadamente $-670\%-\mu\text{m}^2$ o mayor, tal como aproximadamente $-635\%-\mu\text{m}^2$ o mayor). En realizaciones ejemplares, el volumen V_3 de la zanja deprimida está entre aproximadamente $-750\%-\mu\text{m}^2$ y $-450\%-\mu\text{m}^2$ (por ejemplo, entre aproximadamente $-628\%-\mu\text{m}^2$ y $-565\%-\mu\text{m}^2$, tal como aproximadamente $-600\%-\mu\text{m}^2$).

[0085] Un cable de fibra óptica que incluye una o más fibras ópticas de acuerdo con la presente invención puede someterse a una prueba de pinzamiento tal como se muestra en la figura 4. Durante la prueba de pinzamiento, el cable de fibra óptica se dobla sobre sí mismo, de modo que los dos Las partes del cable a cada lado del pliegue son sustancialmente paralelas entre sí, creando así un pinzamiento en el cable de fibra óptica. El cable doblado resultante tiene un diámetro máximo de aproximadamente el doble del diámetro normal del cable. En el punto de pinzamiento, el cable de fibra óptica se aplana y tiene un diámetro menor que su diámetro normal. Aunque el cable de fibra óptica tiene un diámetro reducido en y cerca del punto de pinzamiento, el resto del cable conserva su diámetro normal. El cable se mantiene en este estado de pinzamiento durante unos 10 minutos. Una vez

transcurridos 10 minutos y mientras el cable se mantiene en estado de pinzamiento, se mide la atenuación de las fibras ópticas en el cable (por ejemplo, a temperatura ambiente).

[0086] Durante una prueba de pinzamiento a 850 nm, las fibras ópticas de múltiples modos ejemplares de acuerdo con la presente invención (y contenidas dentro de un cable de fibra óptica) típicamente tienen pérdidas agregadas de atenuación menores de aproximadamente 0,5 dB, más típicamente menos de aproximadamente 0,3 dB (por ejemplo, menos de aproximadamente 0,25 dB, tal como menos de 0,20 dB).

[0087] Los cables de fibra óptica a modo de ejemplo capaces de un excelente rendimiento de prueba de pinzamiento se describen en la solicitud de patente de EE.UU. N° 13/401.026 para un cable de interconexión de fibra óptica.

[0088] Las presentes fibras ópticas pueden facilitar la reducción en el diámetro total de fibra óptica. Como apreciarán los expertos en la técnica, una fibra óptica de diámetro reducido es rentable y requiere menos materia prima. Además, una fibra óptica de diámetro reducido requiere menos espacio de despliegue (por ejemplo, dentro de un tubo de protección y/o cable de fibra óptica), lo que facilita un número aumentado de fibras y/o un tamaño reducido del cable.

[0089] Los expertos en la técnica reconocerán que una fibra óptica con un recubrimiento primario (y un recubrimiento secundario opcional y/o capa de tinta) tiene típicamente un diámetro exterior de entre aproximadamente 235 micrómetros y aproximadamente 265 micrómetros (μm). La propia fibra de vidrio componente (es decir, el núcleo de vidrio y las capas de revestimiento circundantes) típicamente tiene un diámetro de aproximadamente 125 micrómetros, de manera que el espesor total del recubrimiento está típicamente comprendido entre aproximadamente 55 micrómetros y 70 micrómetros.

[0090] Con respecto a la presente fibra óptica, la fibra de vidrio componente tiene típicamente un diámetro exterior de aproximadamente 125 micrómetros. Con respecto a las capas de recubrimiento circundantes de la fibra óptica, el recubrimiento primario tiene típicamente un diámetro exterior de entre aproximadamente 175 micrómetros y aproximadamente 195 micrómetros (es decir, un espesor de recubrimiento primario de entre aproximadamente 25 micrómetros y 35 micrómetros), y el recubrimiento secundario típicamente tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 235 micrómetros y aproximadamente 265 micrómetros (es decir, un espesor de recubrimiento secundario de entre aproximadamente 20 micrómetros y 45 micrómetros). Opcionalmente, la presente fibra óptica puede incluir una capa de tinta más externa, que típicamente tiene un espesor de entre dos y diez micrómetros.

[0091] En una realización alternativa, una fibra óptica puede poseer un diámetro reducido (por ejemplo, un diámetro mayor exterior de entre aproximadamente 150 micrómetros y 230 micrómetros). En esta configuración de fibra óptica alternativa, el grosor del recubrimiento primario y/o recubrimiento secundario se reduce, mientras que el diámetro de la fibra de vidrio componente se mantiene en aproximadamente 125 micrómetros. (Los expertos en la técnica apreciarán que, a menos que se especifique lo contrario, las medidas de diámetro se refieren a los diámetros exteriores).

[0092] A modo de ilustración, en dichas realizaciones ejemplares, la capa de recubrimiento primario puede tener un diámetro exterior de entre aproximadamente 135 micrómetros y aproximadamente 175 micrómetros (por ejemplo, aproximadamente 160 micrómetros), típicamente menos de 165 micrómetros (por ejemplo, entre aproximadamente 135 micrómetros y 150 micrómetros), y generalmente más de 140 micrómetros (por ejemplo, entre aproximadamente 145 micrómetros y 155 micrómetros, tal como aproximadamente 150 micrómetros).

[0093] Además, en tales realizaciones ejemplares, la capa de revestimiento secundaria puede tener un diámetro exterior de entre aproximadamente 150 micrómetros y aproximadamente 230 micrómetros (por ejemplo, más de aproximadamente 165 micrómetros, tal como 190 a 210 micrómetros o así), típicamente entre aproximadamente 180 micrómetros y 200 micrómetros. En otras palabras, el diámetro total de la fibra óptica se reduce a menos de aproximadamente 230 micrómetros (por ejemplo, entre aproximadamente 195 micrómetros y 205 micrómetros, y especialmente alrededor de 200 micrómetros). A modo de ilustración adicional, una fibra óptica puede emplear un recubrimiento secundario de aproximadamente 197 micrómetros con una tolerancia de ± 5 micrómetros (es decir, un diámetro exterior de recubrimiento secundario de entre 192 micrómetros a 202 micrómetros). Típicamente, el recubrimiento secundario retendrá un espesor de al menos aproximadamente 10 micrómetros (por ejemplo, una fibra óptica que tiene un recubrimiento secundario de espesor reducido de entre 15 micrómetros y 25 micrómetros).

[0094] En otra realización alternativa, el diámetro exterior de la fibra de vidrio componente se puede reducir a menos de 125 micrómetros (por ejemplo, entre aproximadamente 60 micrómetros y 120 micrómetros), quizás entre aproximadamente 70 micrómetros y 115 micrómetros (por ejemplo, aproximadamente 80 a 110 micrómetros). Esto se puede lograr, por ejemplo, reduciendo el grosor de una o mayor capas de revestimiento. En comparación con la realización alternativa anterior, (i) el diámetro total de la fibra óptica puede reducirse (es decir, el espesor de los recubrimientos primarios y secundarios se mantiene de acuerdo con la realización alternativa anterior) o (ii) los espesores respectivos de los recubrimientos primarios y/o secundarios pueden aumentarse en relación con la realización alternativa anterior (por ejemplo, de manera que el diámetro total de la fibra óptica pueda mantenerse).

[0095] A modo de ilustración, con respecto a la primera, una fibra de vidrio componente que tiene un diámetro de entre aproximadamente 90 y 100 micrómetros podría combinarse con una capa de recubrimiento primario que tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 110 micrómetros y 150 micrómetros (por ejemplo, , aproximadamente 125 micrómetros) y una capa de recubrimiento secundaria que tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 130 micrómetros y 190 micrómetros (por ejemplo, aproximadamente 155 micrómetros). Con respecto a este último, una fibra de vidrio componente que tenga un diámetro de entre aproximadamente 90 y 100 micrómetros podría combinarse con una capa de recubrimiento primaria que tenga un diámetro exterior de entre aproximadamente 120 micrómetros y 140 micrómetros (por ejemplo, aproximadamente 130 micrómetros) y una capa

de revestimiento que tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 160 micrómetros y 230 micrómetros (por ejemplo, aproximadamente 195 a 200 micrómetros).

[0096] La reducción del diámetro de la fibra de vidrio componente podría hacer que la fibra óptica resultante sea más susceptible a la atenuación de la micro curvatura. Dicho esto, las ventajas de reducir aún más el diámetro de la fibra óptica podrían valer la pena para algunas aplicaciones de fibra óptica.

[0097] Como se indicó, las presentes fibras ópticas pueden incluir una o más capas de recubrimiento (por ejemplo, un recubrimiento primario y un recubrimiento secundario). Al menos una de las capas de recubrimiento, típicamente el recubrimiento secundario, puede estar coloreada y/o poseer otras marcas para ayudar a identificar las fibras individuales. Alternativamente, una capa de tinta terciaria puede rodear los recubrimientos primarios y secundarios.

[0098] En la memoria descriptiva y/o las figuras, se han descrito realizaciones típicas de la invención. La presente invención no está limitada a tales realizaciones ejemplares. El uso del término "y/o" incluye todas y cada una de las combinaciones de uno o mayor de los elementos enumerados asociados. Las figuras son representaciones esquemáticas y, por lo tanto, no están necesariamente dibujadas 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 múltiples modos, que comprende:

- 5 * un núcleo central rodeado por un revestimiento óptico exterior que tiene un valor de índice de refracción n_{cl} , dicho núcleo central que tiene (i) un radio exterior r_1 de aproximadamente 36 micrómetros o mayor, (ii) un valor de índice de refracción máximo n_0 , (iii) un perfil gradual de índice perfil con respecto a dicho revestimiento óptico exterior, y (iv) una diferencia de índice de refracción relativa:

$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2}$$

- 10 * un revestimiento interior dispuesto entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho revestimiento interior un radio exterior r_2 ; en donde la diferencia $r_2 - r_1$ entre el radio exterior r_2 de dicho revestimiento interno y el radio exterior r_1 de dicho núcleo central está comprendida entre aproximadamente 1 micrómetro y 3 micrómetros, y

- 15 * una zanja deprimida dispuesta entre dicho revestimiento interior y dicho revestimiento óptico exterior, teniendo dicha zanja deprimida un radio exterior r_3 , una diferencia de índice de refracción con respecto a dicho revestimiento óptico exterior $\Delta n_3 = n_3 - n_{cl}$, y un volumen V_3 , en donde el volumen V de una zanja deprimida se define por la siguiente ecuación:

$$V = 2\pi \times \int_{r_{int}}^{r_{ext}} \Delta\%(r) \times r \times dr$$

- 20 en donde r_{int} y r_{ext} son el radio interior y el radio exterior de la zanja deprimida, respectivamente, y $\Delta\%(r)$ es la diferencia del índice de refracción de la zanja deprimida con respecto al revestimiento exterior expresado en términos de porcentaje; donde $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,6 \times 10^{-3} \mu m^{-1}$ o mayor y en donde dicho volumen V_3 de la zanja deprimida está comprendido entre aproximadamente $-1710 \text{ \%} \cdot \mu m^2$ y $-635 \text{ \%} \cdot \mu m^2$.

- 25 2. Fibra óptica de múltiples modos según la reivindicación 1, en la que $\frac{\sqrt{2\Delta}}{r_1}$ es de aproximadamente $5,7 \times 10^{-3} \mu m^{-1}$ o superior, incluso mayor preferiblemente de aproximadamente $5,9 \times 10^{-3} \mu m^{-1}$ o superior.

- 30 3. Fibra óptica de múltiples modos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el radio r_1 del núcleo central es igual o inferior a 50 micrómetros.

- 35 4. Fibra óptica de múltiples modos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el radio r_1 del núcleo central es de 37 micrómetros o mayor, más preferiblemente de 38 micrómetros o mayor, incluso mayor preferiblemente de 39 micrómetros o mayor, incluso mayor preferiblemente de 40 micrómetros o mayor, más preferiblemente entre aproximadamente 39 micrómetros y 41 micrómetros.

- 40 5. Fibra óptica de múltiples modos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicho volumen V_3 de la zanja deprimida es $-650 \text{ \%} \cdot \mu m^2$ o mayor, preferiblemente V_3 es $-670 \text{ \%} \cdot \mu m^2$ o mayor, preferiblemente V_3 es $-710 \text{ \%} \cdot \mu m^2$ o mayor, más preferiblemente, V_3 es $-750 \text{ \%} \cdot \mu m^2$ o mayor, aún más preferiblemente, V_3 es $-790 \text{ \%} \cdot \mu m^2$ o mayor, incluso mayor preferiblemente, V_3 es $-830 \text{ \%} \cdot \mu m^2$ o mayor.

- 45 6. Fibra óptica de múltiples modos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la diferencia $r_2 - r_1$ entre el radio exterior r_2 de dicho revestimiento interior y el radio r_1 exterior de dicho núcleo central es igual o inferior a 2 micrómetros.

- 50 7. Fibra óptica de múltiples modos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la diferencia $r_3 - r_2$ entre dicho radio exterior r_3 de la zanja deprimida y dicho radio exterior r_2 del revestimiento interior está comprendida entre aproximadamente 3 micrómetros y 7 micrómetros, preferiblemente igual o menor que 5 micrómetros

- 55 8. Fibra óptica de múltiples modos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la diferencia del índice de refracción Δn_3 con respecto a dicho revestimiento óptico exterior está comprendida entre aproximadamente -10×10^{-3} y -5×10^{-3} .

- 9. Fibra óptica de múltiples modos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que, para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura de menos de aproximadamente 0,3 dB, preferiblemente menos de alrededor de 0,2 dB.

- 10. Fibra óptica de múltiples modos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho núcleo central tiene un radio exterior r_1 menor de 50 micrómetros, en la que dicha zanja deprimida tiene un radio exterior r_3 , una diferencia de índice de refracción Δn_3 con respecto a dicho revestimiento óptico exterior de entre

ES 2 740 637 T3

5 aproximadamente -10×10^{-3} y -5×10^{-3} , y un volumen V_3 ; en donde la diferencia $r_3 - r_2$ entre dicho radio exterior r_3 de la zanja deprimida y dicho radio exterior r_2 del revestimiento interior está comprendida entre aproximadamente 3 micrómetros y 7 micrómetros; y en donde para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 milímetros a una longitud de onda de 850 nanómetros, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,3 dB.

11. Sistema óptico que comprende la fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

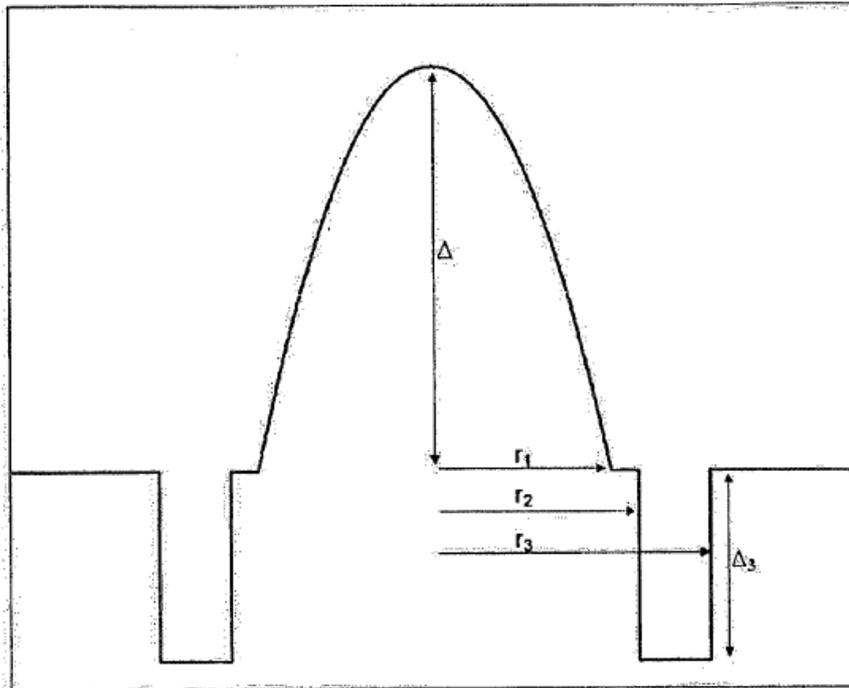


Fig.1

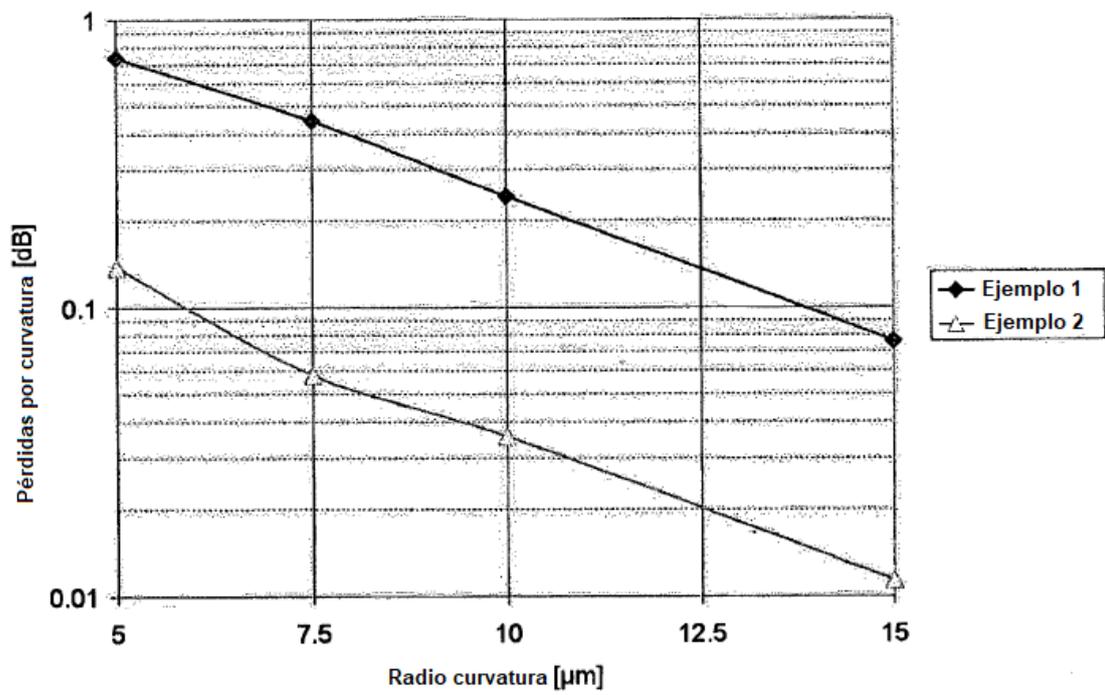


Fig.2

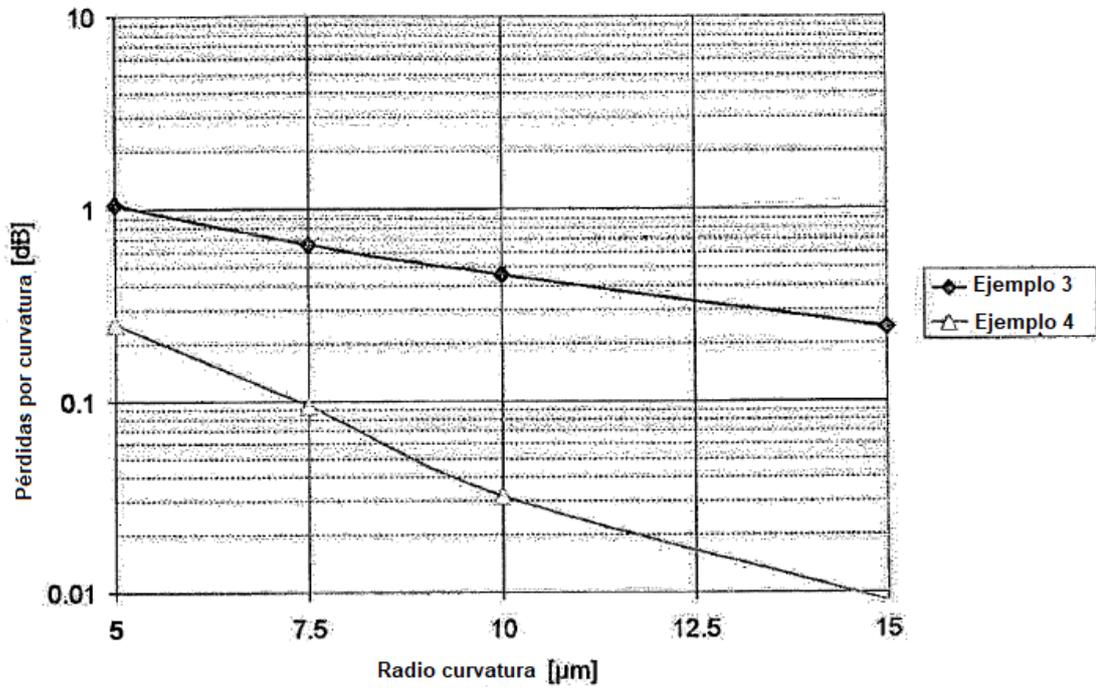


Fig.3

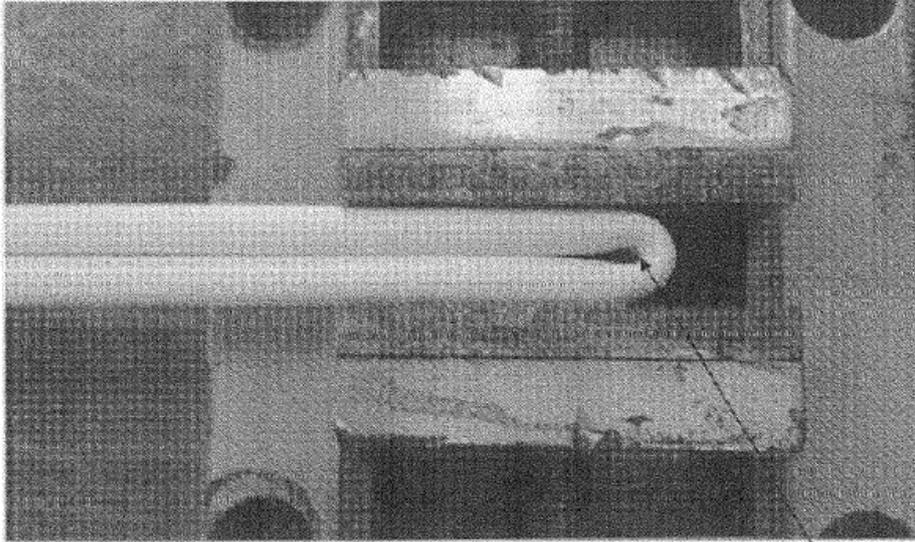


Fig. 4

Plazo pinzamiento

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

- WO 2010036684 A [0014]
- WO 2011109263 A [0017]
- US 401026 A [0087]

10 **Bibliografía no de patentes citada en la descripción**

- **D. GLOGE et al.** Multimode Theory of Graded-Core Fibers. *Bell system Technical Journal*, 1973, 1563-1578 [0008]
- **G. YABRE.** Comprehensive Theory of Dispersion in Graded-Index Optical Fibers. *Journal of Lightwave Technology*, February 2000, vol. 18 (2), 166-177 [0008]
- **D. MOLIN; M. BIGOT-ASTRUC ; P. SILLARD.** 80mm-core graded-index MMF for consumer electronic devices. *Optoelectronic Interconnects XII, February 2, 2012, Proceedings of SPIE*, 02 February 2012, vol. 8267 [0082]