

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 513 016**

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: **29.03.2012** **E 12161943 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.07.2014** **EP 2506045**

54 Título: **Fibra óptica multimodo**

30 Prioridad:

29.03.2011 EP 11305344

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

24.10.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 513 016 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 multimodo

5 **[0001]** La presente invención pertenece al campo de las transmisiones por fibra óptica. Se refiere más particularmente a una fibra óptica multimodo insensible a curvatura que tiene un número reducido de modos de fuga.

10 **[0002]** Una fibra óptica consta convencionalmente de un núcleo óptico o núcleo interno, para transmitir y posiblemente amplificar una señal óptica, y de un revestimiento óptico o revestimiento exterior, para confinar la señal óptica dentro del núcleo interno. Para ese fin, el índice de refracción del núcleo interno n_c es mayor que el índice de refracción del revestimiento exterior n_g .

15 **[0003]** En las fibras ópticas, el perfil de índice de refracción es generalmente calificado en relación con el trazado del gráfico que representa 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 a lo largo del eje de abscisas, y la diferencia entre el índice de refracción a una distancia dada del centro de la fibra óptica y el índice de refracción del revestimiento exterior de fibra óptica se muestra a lo largo del eje de ordenadas. Por tanto, el perfil del índice de refracción se refiere como un perfil "escalón", "trapezoidal", "triangular" o "alfa" (también llamado índice de gradiente o gradual) para gráficos que tienen las respectivas formas de un escalón, un trapecio, un triángulo o una pendiente. Estas curvas son representativas del perfil teórico o perfil establecido de la fibra óptica, las tensiones de fabricación de la fibra óptica puede dar lugar a un perfil ligeramente diferente.

20 **[0004]** Existen principalmente dos tipos de fibras ópticas: fibras multimodo ("FMM") y fibras de mono único. En una FMM, para una longitud de onda dada, varios modos ópticos se propagan simultáneamente a lo largo de la fibra óptica. En una fibra de modo único, el modo fundamental está privilegiado y los modos de orden superior son atenuados significativamente.

25 **[0005]** En las fibras de índice de escalón, los diferentes modos se propagan a lo de la fibra óptica a velocidades diferentes, lo que provoca dispersión del impulso de luz que puede llegar a ser comparable al tiempo de bit, y dar lugar a una tasa de error inaceptable. Para reducir la dispersión intermodal en una FMM, se ha propuesto fabricar fibras de índice gradual con un perfil de núcleo en "alfa". Tales fibras ópticas se han utilizado durante muchos años y sus características se han descrito en particular en las publicaciones: "Multimode theory of graded-core fibers" por D. Gloge et al, Bell System Technical Journal 1973, páginas 1563 a 1578, y "Comprehensive theory of dispersion in graded-index optical fibers" por G. Yabre, Journal of Lightwave Technology, February 2000, volumen 18, nº 2, páginas 166 a 177.

30 **[0006]** Un perfil de índice gradual típico puede ser definido como la relación entre el valor n del índice de refracción en un punto y la distancia r desde este punto hasta el centro de la fibra:

35

$$n(r) = n_0 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha}$$

donde $\alpha \geq 1$ ($\alpha \rightarrow \infty$ correspondiente a un índice de escalón), siendo n_0 el valor de índice máximo del núcleo multimodo (generalmente correspondiente al valor de índice del centro del núcleo interior) y siendo a el radio del núcleo multimodo y

40

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

donde n_{cl} es el valor de índice mínimo del núcleo multimodo, que generalmente corresponde al valor de índice en el límite entre el núcleo interno y el revestimiento interior y también, en general, correspondiente al valor de índice del revestimiento exterior (que está hecho más frecuentemente de sílice).

45 **[0007]** De manera típica, para las FMM de 50 μm , $a = 25 \mu\text{m}$ y para las FMM de 62,50 $a = 31,25 \mu\text{m}$. El parámetro α está típicamente comprendido entre 1,9 y 2,2 y está optimizado para proporcionar el mayor ancho de banda a la longitud de onda operativa objetivo, típicamente 850 nm o 1300 nm.

[0008] Los parámetros clave que garantizan un buen rendimiento de una FMM en comunicaciones de Ethernet de varios gigabits son la resistencia a la flexión (también llamada "resistencia a curvatura") y el ancho de banda.

50 **[0009]** La resistencia de curvatura puede ser fácilmente mejorada rodeando el núcleo de índice gradual mediante una zanja deprimida que tenga un volumen grande. La zanja deprimida tiene una diferencia de índice de refracción negativa con respecto al revestimiento exterior de las fibras ópticas.

[0010] La posición y el tamaño de la zanja deprimida deben ser cuidadosamente diseñados para evitar la degradación del ancho de banda.

55 **[0011]** Sin embargo, mientras que la zanja deprimida mejora la resistencia a curvatura de los modos guiados, también permite modos adicionales, llamados "modos de fuga", propagados conjuntamente con los modos guiados deseados.

[0012] Los modos de fuga presentan pérdidas adicionales, llamadas "pérdidas por fuga". Como es bien conocido por la persona experta, cuanto más grande es la trinchera deprimida, menores son las pérdidas de fuga. Por otra parte, cuando más profunda es la zanja deprimida, es decir, cuanto mayor sea la diferencia de índice de refracción negativo de la zanja deprimida con respecto al revestimiento exterior, mayor es el número de modos de fuga.

[0013] Los modos de fuga también están presentes dentro de una FMM normal, es decir, una FMM sin ninguna mejora significativa en la resistencia a curvatura, pero pueden ser consideradas como no existentes en la práctica, porque el nivel de sus pérdidas de fugas es extremadamente alto.

[0014] Por otro lado, con asistencia de zanja típica, las pérdidas por fuga de los modos de fuga se reducen de manera que los modos de fuga pueden propagarse sobre varios metros e incluso más, dependiendo del diseño de la zanja que es crítico para la compatibilidad con una FMM normal.

[0015] De este modo, el problema es diseñar una fibra óptica multimodo de índice gradual asistida por zanja con un impacto limitado de los modos de fuga en las características ópticas (por ejemplo, tamaño de núcleo y apertura numérica) y aún proporcionando una alta resistencia a curvatura.

[0016] Una pluralidad de documentos, por ejemplo, US-A-2009 0154888, US-A-2008 0166094, JP-A-2006 47719 y US-A-2010 0067858 y US-A-2009 169163, tratan de FMM asistidas por zanja. Sin embargo, ninguno menciona el impacto de los modos de fuga.

[0017] El documento EP 2 339 384 que se publicó después de la fecha de prioridad de la presente solicitud, del presente inventor, describe una FMM de gran ancho de banda con reducidas de pérdidas por curvatura. Sin embargo, en la presente invención se selecciona un enfoque diferente.

[0018] En el documento FR-A-2 949 870, se aborda la cuestión de los modos de fuga. Sin embargo, este documento FR-A-2 949 870, se centra en la apertura numérica es decir, en el campo lejano, en vez de en el tamaño del núcleo interno es decir, el campo cercano con el fin de limitar la contribución de los modos de fuga. La invención se dirige a un enfoque diferente.

[0019] La presente invención tiene por objeto remediar las deficiencias de la técnica anterior.

[0020] Más particularmente, la presente invención propone adaptar las dimensiones y la ubicación de una zanja deprimida en el perfil de índice de refracción de la fibra óptica, con el fin de evitar cualquier efecto perjudicial de modos de fuga inherentes al concepto de asistencia de trinchera, mientras se mantiene una alta resistencia de la fibra a curvatura (llamada "insensibilidad a curvatura").

[0021] Con este propósito, la invención proporciona una fibra óptica multimodo que comprende, desde el centro a la periferia, un núcleo interior, un revestimiento interior, una zanja deprimida y un revestimiento exterior, en la que:

el núcleo interno tiene un radio r_1 comprendido entre $22 \mu\text{m}$ y $28 \mu\text{m}$ y un perfil de índice gradual con un porcentaje relativo de índice de refracción

$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2} > 0.8\%,$$

donde n_0 es el valor de índice máximo del núcleo interno y n_{cl} es el valor de índice mínimo del núcleo interno, el revestimiento interior tiene un radio r_2 , donde $r_2 - r_1$ está comprendida entre $-0,1 \times 10^{-3}$ and $+0,1 \times 10^{-3}$, y una diferencia de índice de refracción Δn_2 con respecto del revestimiento exterior comprendida entre $-0,1 \times 10^{-3}$ y $+0,1 \times 10^{-3}$, la zanja deprimida tiene un radio r_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Δn_3 con respecto al revestimiento exterior y rodea el revestimiento interno,

donde $0,0115807 + 0,0127543 \times (r_2 - r_1) + 0,00241674 \times 1000\Delta n_3 - 0,00124086 \times (r_3 - r_2) \times 1000\Delta n_3 < 2\%$

y

$$\int_{r_2}^{r_3} 1000\Delta n_3(r) dr$$

donde r_2 es menor de $-20 \mu\text{m}$.

[0022] De acuerdo con una realización, tiene una $\int_{r_2}^{r_3} 1000\Delta n_3(r) dr$ mayor de $-30 \mu\text{m}$.

[0023] Según una forma de realización adicional, las pérdidas macrocurvatura son inferiores a $0,3 \text{ dB/vuelta}$ a una longitud de onda de 850 nm para un radio de curvatura de 5 mm .

[0024] Según una forma de realización adicional, la diferencia de índice de refracción Δn_3 está comprendida entre $-15,10^{-3}$ y $-5,8 \cdot 10^{-3}$.

[0025] De acuerdo con una realización adicional, $r_2 - r_1$ es de entre $0,8 \mu\text{m}$ y $2 \mu\text{m}$.

[0026] Según una forma de realización adicional, la diferencia de índice de refracción Δn_2 preferiblemente es esencialmente igual a cero.

[0027] De acuerdo con una realización adicional, la variación en la medición del tamaño del núcleo interno entre una muestra de 2 m (metros) de la fibra y una muestra de 900 m (metros) de la fibra cuando todos los modos guiados y de fuga están excitados, es menor de $1 \mu\text{m}$.

[0028] Para el mismo propósito, la invención también proporciona un sistema óptico que comprende, al menos, una porción de una fibra óptica multimodo como se describió de manera sucinta anteriormente.

[0029] Otras características y ventajas de la invención resultarán de la lectura de la siguiente descripción de realizaciones particulares de la invención, dadas a modo de ejemplos no limitativos y con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

- La figura 1 es un gráfico que muestra el perfil de índice de refracción de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención, en una realización particular;
- La figura 2 es un gráfico que muestra una comparación entre la diferencia relativa entre el tamaño del núcleo interior de una fibra óptica tras 900 m y tras 2 m, calculada de acuerdo con un modelo lineal de acuerdo con la invención y simulaciones físicas; y
- La figura 3 ilustra las pérdidas por macrocurvatura de algunos ejemplos de FMM de 50µm para 2 vueltas y para un radio de curvatura de 5 mm, en condiciones de lanzamiento específicas, recomendadas por la Recomendación UIT-T G651.1.

[0030] La presente invención se entenderá mejor con referencia a la figura 1, que muestra un perfil de índice de refracción de una fibra óptica según la presente invención, en una realización particular.

[0031] La fibra óptica de acuerdo con la invención, es una fibra óptica multimodo que comprende, desde el centro a la periferia, un núcleo interior, un revestimiento interior, una zanja deprimida y un revestimiento exterior.

[0032] El núcleo interior tiene un perfil de índice de refracción gradual, el final del cual está situado a una distancia radial desde el centro de la fibra óptica r_1 , comprendida entre 22 µm y 28 µm (también llamada "radio" del núcleo interior). El núcleo interior tiene una diferencia de índice de refracción Δn_1 con respecto al revestimiento exterior en el comienzo del perfil en alfa.

[0033] La expresión "comienzo del perfil en alfa" significa la posición en el núcleo interno en la que el perfil de índice de refracción tiene un valor máximo n_0 , típicamente en el centro del núcleo interno. El núcleo interior tiene una diferencia de índice de refracción Δn_{end} con respecto al revestimiento exterior en el final del perfil en alfa. La expresión "final del perfil en alfa" significa la distancia radial más allá de la cual el perfil ya no es "alfa".

[0034] El núcleo interior tiene un porcentaje de índice de refracción relativo definido como sigue:

$$\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2} > 0.8\%,$$

donde n_0 es el valor de índice máximo del núcleo interno y n_{cl} es el valor de índice mínimo del núcleo interno. Típicamente, n_{cl} es el índice de refracción de la sílice sin dopar.

[0035] El revestimiento interno rodea el núcleo interno. En una realización, el revestimiento interno rodea directamente el núcleo interno. El final del revestimiento interior se sitúa a una distancia radial r_2 (también llamada "radio" del revestimiento interno) del centro de la fibra. El revestimiento interior tiene una diferencia de índice de refracción Δn_2 con respecto al revestimiento exterior. La Δn_2 está comprendida entre $-0,13 \cdot 10^{-3}$ y $+0,13 \cdot 10^{-3}$ y más preferiblemente es sustancialmente igual a 0, como en la realización preferida de la figura 1.

[0036] La zanja deprimida, el final de la cual se sitúa a una distancia radial r_3 (también llamado "radio" de la zanja deprimida) del centro de la fibra óptica, rodea el revestimiento interior. En una realización, la zanja deprimida rodea directamente el revestimiento interior. La zanja deprimida tiene una diferencia de índice de refracción Δn_3 negativa con respecto al revestimiento exterior. En una realización, el revestimiento exterior rodea directamente la zanja deprimida.

[0037] La diferencia $r_2 - r_1$, generalmente expresada en µm, también se le llama "distancia" entre el final del núcleo interno y la zanja deprimida, es lo mismo que la "anchura" del revestimiento interior. La diferencia $r_3 - r_2$, también expresada generalmente en µm, es llamada también la "anchura" de la zanja deprimida. El valor $1000 \times \Delta n_3$ es también llamada la "profundidad" de la zanja deprimida.

[0038] De acuerdo con la presente invención, la distancia entre el final del núcleo interno y la zanja deprimida, la anchura de la zanja y la profundidad de la zanja satisfacen la siguiente condición, con el fin de limitar el impacto de los modos de fuga:

$$0.0115807 + 0.0127543 \times (r_2 - r_1) + 0.00241674 \times 1000\Delta n_3 - 0.00124086 \times (r_3 - r_2) \times 1000\Delta n_3 < 2\%$$

donde $r_2 - r_1$ se expresa en µm.

[0039] El miembro de la izquierda de esta condición, llamado "diff"

$$\text{diff} = 0.0115807 + 0.0127543 \times (r_2 - r_1) + 0.00241674 \times 1000\Delta n_3 - 0.00124086 \times (r_3 - r_2) \times 1000\Delta n_3$$

se obtiene a través de regresión lineal de un conjunto de datos resultantes de la simulación del tamaño del núcleo tras 2 m y tras 900 m de 60 muestras de FMM de zanja asistida de 46 µm con perfiles de índice de refracción que presentan diferentes combinaciones de distancia, anchura y profundidad que se resumen en la siguiente tabla 2. En

la tabla 2, el parámetro "diff" es la diferencia relativa entre el tamaño del núcleo a 900 m, y a 2 m.

Tabla 2

Anchura(μm)	distancia (μm)	profundidad	diff
1	0,5	-3	1,8%
2	0,5	-3	1,7%
2	0,5	-5	1,5%
2	0,5	-7	1,4%
2	0,5	-9	1,4%
4	0,5	-3	1,9%
4	0,5	-5	2,0%
4	0,5	-7	3,0%
4	0,5	-9	4,0%
7	0,5	-3	3,8%
7	0,5	-5	5,8%
7	0,5	-7	6,8%
7	0,5	-9	7,6%
1	1	-3	3,4%
1	1	-5	1,9%
1	1	-7	1,8%
1	1	-9	1,7%
2	1	-3	2,0%
2	1	-5	1,9%
2	1	-7	1,8%
2	1	-9	1,8%
4	1	-3	2,7%
4	1	-5	3,3%
4	1	-7	4,5%
4	1	-9	5,8%
7	1	-3	5,0%
7	1	-5	7,6%
7	1	-7	9,3%
7	1	-9	10,0%
1	2,5	-3	5,1%
1	2,5	-5	4,6%
1	2,5	-7	4,1%

(continuación)

anchura (μm)	distancia (μm)	profundidad	diff
1	2,5	-9	4,0%
2	2,5	-3	4,7%
2	2,5	-5	4,6%
2	2,5	-7	4,3%
2	2,5	-9	4,5%
4	2,5	-3	5,0%
4	2,5	-5	6,2%
4	2,5	-7	8,8%
4	2,5	-9	11,4%
7	2,5	-3	8,7%
7	2,5	-5	13,7%
7	2,5	-7	15,7%
7	2,5	-9	16,6%
1	4	-3	5,6%
1	4	-5	5,4%
1	4	-9	5,4%
2	4	-3	5,6%
2	4	-5	5,7%
2	4	-7	5,8%
2	4	-9	6,1%
4	4	-3	6,2%
4	4	-5	8,3%
4	4	-7	13,3%
4	4	-9	17,7%
7	4	-3	12,5%
7	4	-5	20,7%
7	4	-7	22,7%
7	4	-9	16,7%

[0040] El gráfico de la figura 2 ilustra la calidad del modelo lineal de la fórmula anterior dando "diff". Es decir, la figura 2 muestra una comparación entre la diferencia relativa entre el tamaño del núcleo en 900 m, y en 2 m, calculada según el modelo lineal (véase la fórmula anterior dando "diff") y las simulaciones físicas.

[0041] La condición anterior, a saber, $\text{diff} < 2\%$, significa que los modos de fuga no perturban significativamente el patrón de campo próximo observado en la salida de una muestra de 2 m de una fibra óptica bajo OFL (lanzamiento sobrellenado).

[0042] En la invención, el parámetro "diff", definido anteriormente es inferior al 2%.

[0043] Más específicamente, la diferencia entre las mediciones de tamaño de núcleo derivadas, realizadas con IEC 60793-1-20 Método C (que es bien conocido para una persona experta en la técnica y consiste en determinar el diámetro de la sección transversal del núcleo interior de una fibra óptica, mediante el análisis de la distribución de luz de campo cercano - también llamado patrón de campo cercano - en una sección transversal en el final de la fibra bajo OFL y calculando el diámetro del núcleo, con o sin ajuste de la curva), sin ajuste de curva es decir, directamente a partir del patrón medido en el nivel k, con $k = 2,5\%$ (donde k es el umbral utilizado

para definir el radio del núcleo de acuerdo con el procedimiento estándar IEC 60793-1-20 Método C), para una muestra de fibra de 2 m y para una muestra de fibra de 900 m, está próxima al 2%.

[0044] Además, la variación en la medición del tamaño del núcleo interno entre una muestra de 2 m de la fibra y una muestra de 900 m de la fibra cuando todos los modos guiados y modos de fuga están excitados, es menor de 1 µm.

[0045] Con el fin de mejorar la resistencia a curvatura, en una realización preferida, la zanja deprimida está diseñada con $(r_3 - r_2) \times 1000\Delta n_3$, menor de -20 µm (es decir, anchura X profundidad menor que -20 µm).

[0046] Más generalmente, $\int_{r_2}^{r_3} 1000\Delta n_3(r)dr$ es menor que -20 µm. Preferiblemente $\int_{r_2}^{r_3} 1000\Delta n_3(r)dr$ es mayor que -30 µm.

[0047] La distancia entre el final del núcleo interno y la zanja deprimida, se elige para ser preferiblemente suficientemente grande para permitir la sintonización del ancho de banda con el índice de refracción del revestimiento interior entre el núcleo interno y la zanja deprimida. Por ejemplo, la "distancia" $r_2 - r_1$ es mayor que 0,8 µm y está comprendida entre 0,8 µm y 7 µm, más preferiblemente entre 0,8 µm y 2 µm.

[0048] De acuerdo con una realización preferida de la invención, la profundidad de zanja deprimida Δn_3 , está comprendida entre $-15 \cdot 10^{-3}$ y $-5,8 \cdot 10^{-3}$, más preferiblemente entre $-10 \cdot 10^{-3}$ y $-5,8 \cdot 10^{-3}$.

[0049] La tabla 1a siguiente ofrece ejemplos de fibras no conformes con la presente invención. La tabla 1b a siguiente ofrece ejemplos de fibras de acuerdo con la presente invención. El parámetro "diff" es el miembro de la izquierda de la condición anteriormente definida:

$$\text{diff} = 0.0115807 + 0.0127543 \times (r_2 - r_1) + 0.00241674 \times 1000\Delta n_3 - 0.00124086 \times (r_3 - r_2) \times 1000\Delta n_3$$

Tabla 1a

Anchura (µm)	Distancia (µm)	Profundidad	diff	Anchura x profundidad (µm)
3,4	1	-5,88235	3,5%	-20
3,7	1	-6,75676	3,9%	-25
3,2	1	-9,375	3,9%	-30
2,9	1	-12,069	3,9%	-35

Tabla 1b

Anchura (µm)	Distancia (µm)	Profundidad	diff	Anchura x profundidad (µm)
2,2	0,2	-10	1,73%	-22,0
2,3	0,1	-11	1,77%	-25,3
2,2	0,2	-15	1,88%	-33,0
1,8	0,8	-12	1,96%	-21,6

[0050] Las pérdidas por macrocurvatura dependen principalmente de la anchura x profundidad del producto. La tabla 3 siguiente da algunos ejemplos de FMM de 50 µm con diferentes valores de ese producto. Las pérdidas por macrocurvatura se miden a 850 nm de acuerdo con la Recomendación UIT-T G651.1 en condiciones de lanzamiento específicas definidas en la norma IEC 60793-1-47. "BL 2turns BI @ 5mm" indican las pérdidas de macrocurvatura para dos vueltas y para un radio de curvatura de 5 mm.

Tabla 3a

Anchura (μm)	distancia (μm)	profundidad	Anchuraxprofundidad (μm)	BL 2turns @ 5mm (dB)	diff
6,3	1,3	-6,6	-41,6	0,100	6,4%
6,3	1,3	-0,6	-3,8	2,000	3,1%
4,0	1,0	-3,5	-14,0	0,627	3,3%

(continuación)

anchura (μm)	distancia (μm)	Profundidad	anchuraxpropundidad (μm)	BL 2turns @ 5mm (dB)	diff
4,2	1,0	-9,5	-39,5	0,089	5,1%
4,0	1,0	-12,9	-52,0	0,021	5,8%
3,6	1,0	-6,2	-22,2	0,272	3,7%
4,0	1,0	-12,9	-51,8	0,015	5,7%
4,0	1,0	-7,6	-30,3	0,132	4,4%

Tabla 3b

anchura (μm)	distancia (μm)	Profundidad	anchuraxprofundidad (μm)	BL 2turns @ 5mm (dB)	diff
2,2	0,2	-10	-22,0	0,339	1,73%
2,3	0,1	-11	-25,3	0,258	1,77%
2,2	0,2	-15	-33,0	0,124	1,88%
1,8	0,8	-12	-21,6	0,352	1,96%

[0051] En la tabla 3a, todos los ejemplos muestran una condición $\text{diff} > 2\%$ con altas pérdidas por curvatura. Las pérdidas por macrocurvatura se pueden mejorar, pero con un impacto perjudicial sobre el tamaño del núcleo. Para el ejemplo en negrita, las pérdidas por macrocurvatura se pueden mejorar pero la contribución del modo de fuga al campo cercano es demasiado grande. Esto está relacionado con que el diff sea $> 2\%$

[0052] El gráfico de la figura 3 ilustra los ejemplos de la tabla 3a (rombos abiertos) y 3b (triángulos cerrados). Muestra las pérdidas por macrocurvatura (en dB) de los ejemplos de FMM de $50\ \mu\text{m}$, reseñadas en la tabla 3 para 2 vueltas y un radio de curvatura de 5 mm, en las condiciones de lanzamiento recomendada por UIT-T G651.1. Se puede observar que, según realizaciones de la invención, las fibras exhiben pérdidas por macrocurvatura inferiores a 0,4 dB/vuelta a una longitud de onda de 850 nm para un radio de curvatura de 5 mm. Por lo tanto, la fibra según la presente invención ofrece una alta resistencia a curvatura, además de su reducido número de modos de fuga.

[0053] La invención también proporciona un sistema óptico que comprende al menos una porción de una fibra óptica multimodo como se describió anteriormente.

[0054] Debe mencionarse que el retardo de modo de dispersión (DMD) se puede mejorar con el fin de cumplir con los requisitos de las normas OM3 y OM4, que son los siguientes:

Tabla 4
ESPECIFICACIONES DE DMD PARA FIBRAS OM3

Especificaciones	DMD Interior	DMD exterior	DMDdeslizamiento
1	$\leq 0,33$	$\leq 0,33$	$\leq 0,25$
2	$\leq 0,27$	$\leq 0,35$	$\leq 0,25$
3	$\leq 0,26$	$\leq 0,40$	$\leq 0,25$
4	$\leq 0,25$	$\leq 0,50$	$\leq 0,25$
5	$\leq 0,24$	$\leq 0,60$	$\leq 0,25$
6	$\leq 0,23$	$\leq 0,70$	$\leq 0,25$

[0055] Las fibras OM3 cumplen al menos una de estas seis especificaciones. Los valores de DMD interior, exterior y deslizamiento en ps/m.

Tabla 5
ESPECIFICACIONES DMD PARA FIBRAS OM4

Especificaciones	DMD int.	DMD ext.	DMD desliz.
1	≤ 0.10	≤ 0.30	≤ 0.11
2	≤ 0.11	≤ 0.17	≤ 0.11
3	≤ 0.14	≤ 0.14	≤ 0.11

[0056] Las fibras OM4 cumplen al menos una de estas tres especificaciones. Los valores de DMD interior, exterior y deslizamiento se expresan en ps/m.

[0057] Las normas definen tres valores de DMD con sus respectivas máscaras, llamadas interior, exterior y deslizamiento con sus respectivas máscaras. La máscara interior se extiende desde 5 μm hasta 18 μm , y la máscara exterior de 0 μm a 23 μm . Las máscaras de deslizamiento son máscaras de anchura de 5 μm que se inician sucesivamente en compensaciones de 7, 9, 11 y 13 μm .

[0058] Los valores de DMD corresponden al retardo entre los impulsos más rápidos y más lentos dentro de un subgrupo de lanzamientos de compensación dado, también llamados máscaras, a partir del tiempo de subida y caída en el cuarto del máximo y teniendo en cuenta la FWQM (Anchura a media altura) del impulso de entrada de referencia.

[0059] Ellos se calculan a partir del trazado de DMD obtenido de las mediciones de DMD que consisten en la medición de respuestas a impulso de los lanzamientos de fibra de modo único que exploran radialmente el núcleo de la fibra.

[0060] Mediante la elección de valores adecuados de $r_2 - r_1$, Δn_2 y Δn_3 , el DMD puede ser optimizado.

[0061] Además, ya que las pérdidas a macrocurvatura se reducen, los valores de DMD es probable que permanezcan sin cambios bajo curvatura.

REIVINDICACIONES

1. Fibra óptica multimodo que comprende, desde el centro a la periferia, un núcleo interno, un revestimiento interior, una zanja deprimida y un revestimiento exterior, en la que:
5 el núcleo interno tiene un radio r_1 comprendido entre 22 μm y 28 μm y un perfil de índice gradual con un porcentaje de índice de refracción $\Delta = \frac{n_0^2 - n_{cl}^2}{2n_0^2} > 0.8\%$, donde n_0 es el valor de índice máximo del núcleo interno y siendo n_{cl} el valor de índice mínimo del núcleo interno,
el revestimiento interior tiene un radio r_2 , donde $r_2 - r_1$ está comprendida entre 0,8 μm y 7 μm y una diferencia de índice de refracción Δn_2 con respecto al revestimiento exterior comprendida entre $-0,13 \cdot 10^{-3}$ y $+0,13 \cdot 10^{-3}$;
10 la zanja deprimida tiene un radio r_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Δn_3 con respecto al revestimiento exterior y rodea el revestimiento interno,
en la que $0,0115807 + 0,0127543 \times (r_2 - r_1) + 0,00241674 \times 1000\Delta n_3 - 0,00124086 \times (r_3 - r_2) \times 1000\Delta n_3 < 2\%$, y donde $\int_{r_2}^{r_3} 1000\Delta n_3(r)dr$ es menor de -20 μm .
2. Fibra óptica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que $\int_{r_2}^{r_3} 1000\Delta n_3(r)dr$ es mayor de -30 μm .
15 3. Fibra óptica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 que tiene pérdidas por macrocurvatura inferiores a 0,3 dB/vuelta a una longitud de onda de 850 nm para un radio de curvatura de 5mm.
4. Fibra óptica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que Δn_3 está comprendida entre $-1,5 \cdot 10^{-3}$ y $5,8 \cdot 10^{-3}$.
20 5. Fibra óptica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que $r_2 - r_1$ está comprendida entre 0,8 μm y 2 μm .
6. Fibra óptica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la diferencia de índice de refracción Δn_2 es sustancialmente igual a cero.
7. Fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la variación en la medición del tamaño del núcleo interno entre una muestra de 2 metros de la fibra y una muestra de 900 metros de la fibra, cuando todos los modos guiados y modos de fuga están excitados, es inferior a 1 μm .
30 8. Sistema óptico que comprende al menos una porción de una fibra óptica multimodo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

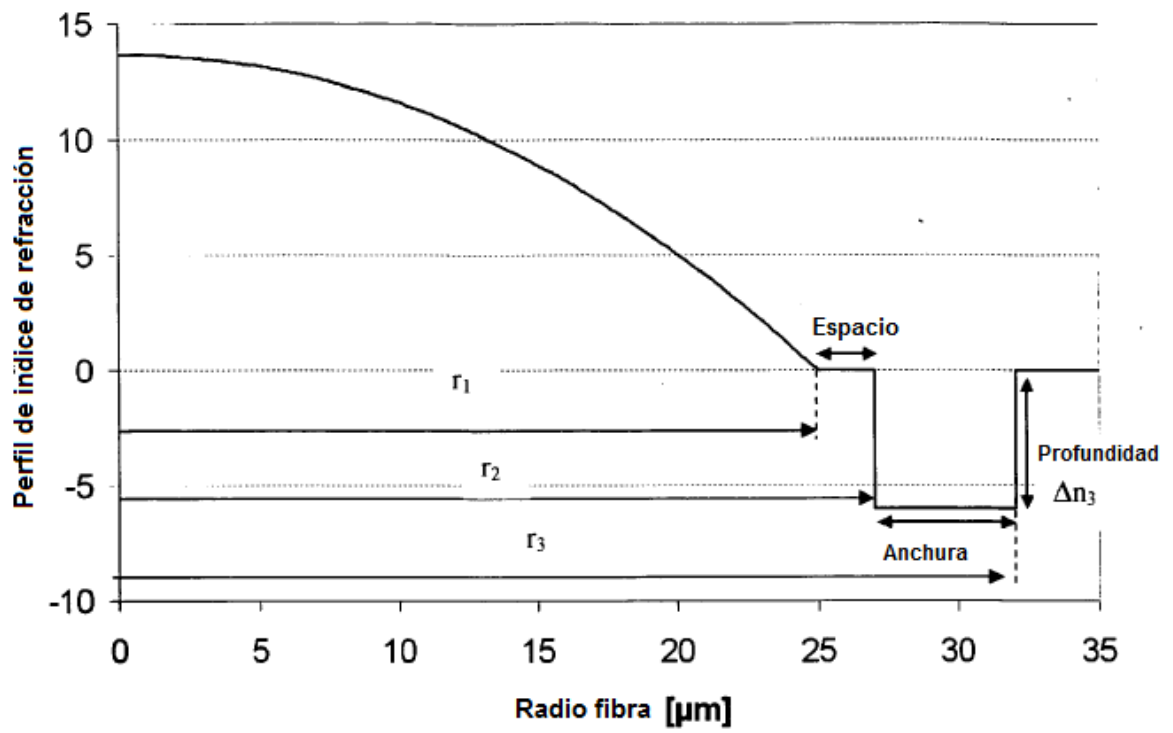


Fig. 1

Modelo lineal

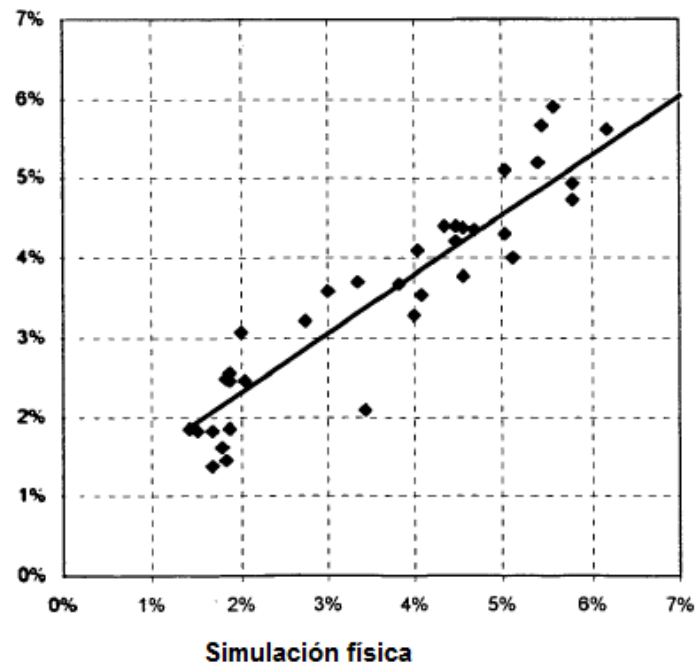


Fig. 2

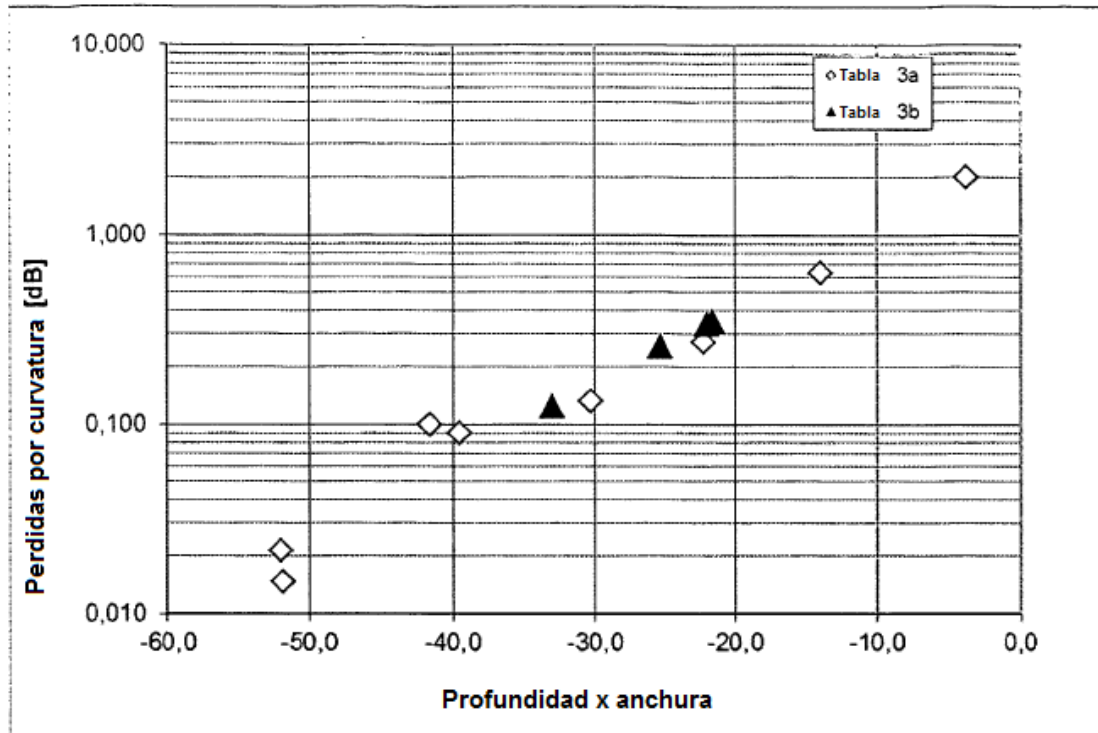


Fig. 3

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

- US 20090154888 A [0016]
- US 20080166094 A [0016]
- JP 2006047719 A [0016]
- US 20100067858 A [0016]
- US 2009169163 A [0016]
- EP 2339384 A [0017]
- FR 2949870 A [0018]

10 Bibliografía de patentes citada en la descripción

- **D. GLOGE et al.** Multimode theory of graded-core fibers. *Bell System Technical Journal*, 1973, 1563-1578 [0005]
- **G. YABRE.** Comprehensive theory of dispersion in graded-index optical fibers. *Journal of Lightwave Technology*, February 2000, vol. 18 (2), 166-177 [0005]