

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 323**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/028** (2006.01)

**G02B 6/036** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.06.2013 PCT/EP2013/063417**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2014 WO14206464**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2013 E 13734985 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 3014320**

54 Título: **Fibra óptica de modos múltiples insensible a curvatura con reducida repercusión de modos de fuga**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.02.2018**

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ BV (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 2 654 323 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 modos múltiples insensible a curvatura con reducida repercusión de modos de fuga

5 CAMPO DE LA INVENCION

**[0001]** La invención se refiere a la transmisión por fibra óptica y, más específicamente, a una fibra óptica de modos múltiples insensible a curvatura que tiene un número reducido de modos de fuga.

10 ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS

**[0002]** Una fibra óptica está constituida convencionalmente por un núcleo óptico, que transmite una señal óptica, y un revestimiento óptico, que confina la señal óptica dentro del núcleo óptico. Para ese fin, el índice de refracción del núcleo,  $n_c$ , es mayor que el del revestimiento,  $n_g$ . Una fibra óptica generalmente se caracteriza por un perfil de índice de refracción que asocia el índice de refracción  $n$  con el radio  $r$  de la fibra óptica: la distancia  $r$  con respecto al centro de la fibra óptica se muestra en el eje  $x$  y la diferencia  $\Delta n$  entre el índice de refracción para el radio  $r$  y el índice de refracción del revestimiento óptico se muestra en el eje  $y$ .

**[0003]** Actualmente, existen dos categorías principales de fibras ópticas: fibras de modos múltiples y fibras de modo único. En una fibra de modos múltiples, para una longitud de onda dada, varios modos ópticos se propagan simultáneamente a lo largo de la fibra óptica, mientras que en una fibra de modo único, los modos de orden superior son cortados o altamente atenuados.

**[0004]** Las fibras de modos múltiples se usan comúnmente para aplicaciones de corta distancia que requieren un gran ancho de banda, tales como redes de área local (LAN) y unidades de vivienda múltiple (MDU), más generalmente conocidas como redes en edificios. El núcleo de una fibra de modos múltiples típicamente tiene un diámetro de 50  $\mu\text{m}$  o 62,5  $\mu\text{m}$  y un perfil de índice de refracción gradual en alfa. En tales aplicaciones, las fibras ópticas convencionales pueden someterse a curvatura involuntaria, lo que puede causar pérdidas intrínsecas y, por lo tanto, modificar la distribución de potencia de modo y el ancho de banda de la misma.

**[0005]** Los parámetros clave que aseguran buenos rendimientos de las fibras de modos múltiples en las comunicaciones de Ethernet de varios gigabits son la resistencia a pérdidas por curvatura y el ancho de banda.

**[0006]** Una solución conocida para mejorar la resistencia a pérdida por curvatura de las fibras de modos múltiples consiste en añadir una porción de índice deprimido entre el núcleo de índice gradual y el revestimiento. Esta porción de índice deprimido, generalmente llamada zanja deprimida, tiene una diferencia de índice de refracción negativa respecto del revestimiento de fibra óptica, y su posición y tamaño se diseñan para evitar la degradación del ancho de banda.

**[0007]** Sin embargo, aunque la presencia de una zanja deprimida mejora la resistencia a pérdidas por curvatura de los modos ópticos guiados, también conduce a modos parásitos adicionales, llamados "modos de fuga", a propagarse junto con los modos ópticos guiados. Los rayos ópticos se reflejan parcialmente en la interfaz de zanja deprimida, los modos de fuga exhiben pérdidas adicionales (comúnmente llamadas "pérdidas de fuga") en comparación con los modos ópticos guiados procedentes del propio perfil de índice de refracción.

**[0008]** Los modos de fuga también están presentes dentro de una fibra de modos múltiples convencional, es decir, una fibra de modos múltiples que no tiene medios de resistencia a pérdidas por curvatura, pero las mismas son prácticamente inexistentes en la práctica, debido a que el nivel de sus pérdidas por fuga es extremadamente alto. Por otro lado, con un diseño conocido de fibra óptica asistida por zanja, las pérdidas por fuga de los modos de fuga son tan reducidas que los modos de fuga se propagan a lo largo de varios metros y aún más, lo cual es crítico para la compatibilidad con una fibra de modos múltiples convencional. Bajo las condiciones OFL (OverFilled Launch [lanzamiento sobresaturado]), se descubrió que la aparición de modos de fuga perturba las mediciones de caracterización, sobre todo las mediciones del tamaño del núcleo ( $a$ ) y de la apertura numérica (NA). Esto es problemático porque la interconexión entre fibras requiere tolerancias estrechas.

**[0009]** Por lo tanto, sería eficaz proporcionar una fibra óptica de modos múltiples que tenga un impacto limitado de los modos de fuga sobre las características ópticas (como el tamaño del núcleo y la apertura numérica) y que proporcione una resistencia a pérdidas por curvatura, permitiendo un amplio ancho de banda modal.

**[0010]** Los documentos de patente US 2009/0154888, US 2008/0166094, JP 2006/47719, US 2011/0123161, US 2010/0067858, por ejemplo, se refieren a una fibra óptica de índice gradual que tiene una zanja deprimida dentro del revestimiento para reducir las pérdidas por curvatura. Sin embargo, ninguno de estos documentos revela una solución para superar el problema del impacto de los modos de fuga sobre las características ópticas.

**[0011]** El documento de patente US 2011/058781 también se refiere a una fibra óptica de modos múltiples asistida por zanja. Este documento propone mejorar la resistencia a pérdidas por curvatura de la fibra óptica definiendo el volumen de la zanja deprimida como comprendida entre -40  $\mu\text{m}$  y -30  $\mu\text{m}$ . Esta invención proporciona una regla que limita el efecto nocivo de los modos de fuga sobre la apertura numérica (es decir, en la divergencia de salida de punto de luz de la fibra óptica) pero no proporciona ninguna solución para minimizar el impacto sobre otras características ópticas, como por ejemplo el tamaño de núcleo óptico. De hecho, el modo de fuga conduce a una ampliación artificial del tamaño del núcleo durante las mediciones de caracterización (el núcleo parece más grande de lo que realmente es). Por lo tanto, esta solución conocida no es óptima. El documento US2013/0028564 A1, revela una fibra de modos múltiples asistida por zanja.

65

OBJETIVOS DE LA INVENCION

[0012] La invención, en al menos una realización, está dirigida especialmente a superar estos diferentes inconvenientes de la técnica anterior.

5 [0013] Más específicamente, un objetivo de, al menos, una realización de la invención es proporcionar una fibra óptica de modos múltiples con una repercusión limitada de los modos de fuga sobre las características ópticas, a la vez que proporciona una alta resistencia a pérdidas por curvatura y un amplio ancho de banda modal para transmisión de modos múltiples

10 [0014] Otro objetivo de, al menos, una realización es proporcionar una fibra óptica de modos múltiples que asegure una compensación entre las pérdidas de fuga y las pérdidas por curvatura que es mejor que la de las fibras ópticas de la técnica anterior.

[0015] Otro objetivo de al menos una realización es proporcionar una fibra óptica de modos múltiples que sea simple de fabricar y poco costosa.

15 SUMARIO DE LA INVENCION

[0016] En una realización particular de la invención, se propone una fibra óptica de modos múltiples que comprende un núcleo óptico y un revestimiento óptico que rodea el núcleo óptico, teniendo el núcleo óptico un perfil de índice de refracción gradual, comprendiendo el revestimiento óptico:

- 20 - una capa interior que rodea dicho núcleo óptico,
- una capa intermedia, llamada "zanja deprimida", que rodea dicha capa interior,
- una capa exterior que rodea dicha zanja deprimida y que tiene un índice de refracción constante, teniendo dicha zanja deprimida una anchura W y una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_t$  negativa con respecto a la capa exterior.

25 [0017] La zanja deprimida según la invención está dispuesta para satisfacer la siguiente desigualdad:

$$|0,585677 - 114,681X S + 13,7287 X S^2 + 18,7343 X S X W - 4,6112X SX \Delta n_t \cdot 10^3 - 0,913789X W X \Delta n_t \cdot 10^3 | + 2XW X \Delta n_t \cdot 10^3 < -30$$

donde:

S es la anchura del revestimiento interior, que está comprendida entre 0,6  $\mu\text{m}$  y 1,6  $\mu\text{m}$ ;

30  $\Delta n_t$  está comprendida entre  $-11 \cdot 10^{-3}$  y  $-4 \cdot 10^{-3}$ ;

$W \times \Delta n_t \cdot 10^3$  es inferior a  $-25 \mu\text{m}$ .

[0018] El principio general es proponer una fibra óptica de modos múltiples que comprenda una zanja deprimida dentro del revestimiento óptico con un perfil de índice optimizado para limitar el impacto de los modos de fuga sobre las características ópticas, y que tiene una alta resistencia a pérdidas por curvatura. Para ello, los valores de la anchura interior del revestimiento S, de la anchura de la zanja W y de la diferencia de índice de zanja  $\Delta n_t$  (también llamada "profundidad de zanja") se elegirán adecuadamente para satisfacer tanto la desigualdad como las condiciones descritas anteriormente.

[0019] En primer lugar, para limitar el impacto de los modos de fuga, el ancho del revestimiento interior S, la anchura de zanja W y la profundidad de zanja  $\Delta n_t$  deberán satisfacer dicha desigualdad: corresponde a un criterio de aceptación representativo del nivel de impacto de los modos de fuga en las características ópticas de la fibra óptica. Entonces, la condición de la anchura del revestimiento interior S, se utiliza para permitir que la fibra óptica de modos múltiples tenga un alto rendimiento de ancho de banda modal. La condición del parámetro de zanja  $\Delta n_t$  se utiliza para la producción e implementación a gran escala de fibras ópticas. Finalmente, la condición del producto  $W \times \Delta n_t \cdot 10^3$  se utiliza para tener pérdidas por curvatura lo más bajas posible.

45 [0020] La implementación inteligente de dicha fibra óptica asistida por zanja deprimida conduce a una compensación entre el efecto negativo de los modos de fuga y las pérdidas por curvatura que sea mejor que la de las fibras ópticas de la técnica anterior, mientras que se mantiene un amplio ancho de banda modal.

[0021] Reducir el número de modos de fuga que se propagan dentro de la fibra óptica significa reducir las perturbaciones en las medidas de caracterización de las fibras ópticas de modos múltiples. El resultado es, en particular, una estimación más precisa de las medidas del tamaño del núcleo óptico con respecto a las fibras ópticas de la técnica anterior (para las cuales el tamaño del núcleo óptico es generalmente sobrestimado). La fibra de modos múltiples asistida por zanja según la invención garantiza, por lo tanto, una mejor compatibilidad con las fibras de modos múltiples convencionales (exentas de zanjas deprimidas).

55 [0022] Además, una fibra óptica según la invención es sencilla de fabricar y es poco costosa, ya que todo lo que se necesita es adaptar el dopado de las diferentes partes del revestimiento óptico en función del perfil de índice de refracción deseado para la zanja deprimida.

[0023] Ventajosamente, la anchura S de la capa interior está comprendida entre 0,8  $\mu\text{m}$  y 1,2  $\mu\text{m}$ .

[0024] Este rango de valores proporciona a la fibra óptica de modos múltiples un alto ancho de banda modal, esencial para aplicaciones de corta distancia.

60 [0025] De acuerdo con una característica ventajosa, la diferencia del índice de refracción negativa con respecto a la capa exterior está comprendida entre  $-8 \cdot 10^{-3}$  y  $-4 \cdot 10^{-3}$ .

[0026] Este rango de valores conduce a reducir aún más las pérdidas por curvatura. Esto es para la mejor compensación entre la mejora de la resistencia curvatura y la resistencia al modo de fugas.

[0027] En una realización ejemplar, la capa interior tiene un índice de refracción constante sustancialmente igual al índice de refracción de la capa exterior.

[0028] En una realización ejemplar alternativa, que resulta ser más ventajosa, la capa interior tiene una diferencia de índice de refracción con respecto a la capa exterior que está comprendida entre aproximadamente  $-0,40 \times 10^{-3}$  y  $2,00 \times 10^{-3}$ , y más precisamente entre aproximadamente  $-0,27 \times 10^{-3}$  y  $1,19 \times 10^{-3}$ , y aún más precisamente entre  $-0,10 \times 10^{-3}$  y  $0,60 \times 10^{-3}$ .

[0029] Esto permite fibras ópticas de modos múltiples de mayor ancho de banda.

[0030] Ventajosamente, el perfil de índice graduado del núcleo óptico es un perfil de índice gradual en alfa, que se puede definir de la siguiente manera:

$$n(r) = n_0 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \Delta \cdot (r/a)^\alpha} \quad \text{para } r < a$$

dónde:

$a$  es el radio del núcleo óptico;

$n_0$  es el índice de refracción máximo del núcleo óptico (que generalmente corresponde al valor del índice del centro del núcleo óptico, es decir, para  $r = 0$ );

$1,9 \leq \alpha \leq 2,2$ , siendo  $\alpha$  un parámetro adimensional que define la forma del perfil de índice gradual del núcleo óptico

$\Delta = \frac{n_0^2 - n_1^2}{2n_0^2}$ , siendo  $\Delta$  la diferencia de índice de refracción normalizada y  $n_1$  el valor de índice de refracción mínimo del núcleo óptico (que generalmente corresponde al valor de índice de refracción del revestimiento exterior).

[0031] El perfil de índice de refracción en alfa del núcleo óptico permite reducir la dispersión intermodal. El parámetro alfa ( $\alpha$ ) se elige para proporcionar el mayor ancho de banda a la longitud de onda operativa objetivo, tal como por ejemplo 850 nm o 1300 nm.

[0032] De acuerdo con una característica ventajosa, el núcleo óptico tiene una diferencia de índice de refracción máxima  $\Delta n_0$  con respecto a la capa exterior comprendida entre aproximadamente  $11 \times 10^{-3}$  y  $18 \times 10^{-3}$ , más precisamente entre aproximadamente  $13 \times 10^{-3}$  y  $16 \times 10^{-3}$ .

[0033] De manera ventajosa, el extremo exterior de dicha zanja deprimida está separado del centro de la fibra óptica en un radio  $r_i$  inferior a 32  $\mu\text{m}$ , y más precisamente inferior a 30  $\mu\text{m}$ .

[0034] Preferentemente, la fibra óptica de modos múltiples tiene una abertura numérica comprendida entre 0,185 y 0,215 y el núcleo óptico tiene un radio  $a$  comprendido entre aproximadamente 22  $\mu\text{m}$  y 27  $\mu\text{m}$ . La apertura numérica, en lo sucesivo denominada NA, es un número adimensional que caracteriza el rango de ángulos en los que la fibra óptica puede aceptar o emitir puntos de luz. Se puede definir con la siguiente ecuación:

$$NA = \sqrt{n_0^2 - n_1^2} = n_0 \cdot \sqrt{2\Delta}$$

[0035] En otra realización, la invención se refiere a un sistema óptico que comprende, al menos, una fibra óptica de modos múltiples descrita aquí anteriormente en cualquiera de sus diferentes realizaciones. Este sistema óptico de modos múltiples puede ser una red doméstica óptica, tal como una red de área local (LAN) y/o por ejemplo, una unidad de viviendas múltiples (MDU).

#### LISTA DE FIGURAS

[0036] Otras características y ventajas de las realizaciones de la invención aparecerán a partir de la siguiente descripción, dada a modo de ejemplos indicativos y no exhaustivos y a partir de los dibujos adjuntos, en los cuales: La figura 1 proporciona un gráfico del perfil de índice de refracción de una fibra óptica de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 2 muestra una comparación entre la fibra óptica asistida-deprimida de la invención y la fibra óptica asistida-deprimida de la técnica anterior descrita anteriormente con referencia a los antecedentes tecnológicos, calculada de acuerdo con un modelo lineal de acuerdo con la invención;

La figura 3 representa gráficamente la sensibilidad a curvatura de las fibras ópticas de acuerdo con la invención medida a una longitud de onda de 850 nm en condiciones de lanzamiento definidas en la norma IEC 60793-1-47, en función del volumen de la zanja de estas fibras ópticas.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0037] El principio general de la invención es proponer una fibra óptica de modos múltiples que comprende un diseño asistido por zanja que permite limitar la contribución negativa de los modos de fuga en las características ópticas, en particular (pero no exclusivamente) en el tamaño del núcleo óptico, a la vez que proporciona resistencia a curvatura y alto rendimiento del ancho de banda modal.

[0038] La figura 1 representa el perfil de índice de refracción  $n(r)$  de una fibra óptica de acuerdo con una realización de la invención. Describe la relación entre el valor  $n$  del índice de refracción y la distancia  $r$  desde el centro de la fibra óptica.

[0039] La distancia  $r$  con respecto al centro de la fibra óptica se muestra en el eje  $x$  y la diferencia  $n(r) - n_1$ , entre el índice de refracción para el radio  $r$  y el índice de refracción del revestimiento exterior se muestra sobre el eje  $y$ .

**[0040]** La fibra de la invención es una fibra óptica de modos múltiples que tiene un núcleo óptico ( $0 < r < a$ ) y un revestimiento óptico ( $a \leq r$ ) que rodea el núcleo óptico.

5 **[0041]** El revestimiento óptico comprende especialmente, desde el centro de la fibra óptica hasta la periferia: una capa interior (denominada en lo sucesivo "revestimiento interior") que rodea el núcleo óptico, una capa intermedia (en lo sucesivo denominada "zanja deprimida") que rodea el revestimiento interior, una capa exterior (en lo sucesivo denominada "revestimiento exterior") que rodea la zanja deprimida.

10 **[0042]** El revestimiento interior rodea directamente el núcleo óptico. El final del revestimiento interior se encuentra a una distancia radial  $r_c$  del centro de la fibra óptica. Además tiene una diferencia de índice de refracción sustancialmente igual a 0 respecto del revestimiento exterior, puesto que tiene un índice de refracción constante ( $n_3$ ) que es esencialmente igual al uno de los revestimientos externos ( $n_1$ ) tal como:

$$n_1 = n_0 \cdot \sqrt{1 - 2\Delta}$$

15 **[0043]** La zanja deprimida rodea directamente el revestimiento interior. Se sitúa entre el revestimiento interior y el revestimiento exterior a una distancia radial entre  $r_c$  y  $r_t$  desde el centro de la fibra óptica. La zanja deprimida se caracteriza por tres parámetros principales:

- una profundidad de zanja  $\Delta n_t$  que corresponde a la diferencia del índice de refracción negativa con respecto al revestimiento exterior ( $n_1$ );
- una anchura de zanja  $W$  que corresponde a la diferencia  $r_t - r_c$  (expresada en micrómetros); y
- un espacio  $S$  que separa el comienzo de la zanja deprimida del final del núcleo óptico, es decir, la diferencia  $r_c - a$  (expresada en micrómetros).

20 **[0044]** Según la invención, estos parámetros de zanja  $\Delta n_t$ ,  $W$ ,  $S$  se ajustan de modo que satisfagan la siguiente desigualdad:

$$|0,585677 - 114,681X S + 13,7287 X S^2 + 18,7343 X S X W - 4,6112X S X \Delta n_t \cdot 10^3 - 0,913789X W X \Delta n_t \cdot 10^3 |$$

$$+ 2X W X \Delta n_t \cdot 10^3 < -30$$

25 **[0045]** Los inventores descubrieron que el miembro izquierdo de esta desigualdad corresponde a un criterio de aceptación representativo del nivel de impacto de los modos de fuga en las características ópticas de la fibra óptica. Este criterio de aceptación se ha obtenido a través de un modelo lineal generalizado a partir de un conjunto de datos resultante de una simulación del tamaño del núcleo óptico después de 2 metros de muestras de fibras ópticas de modos múltiples asistidas por zanja y para las que los perfiles de índice de refracción muestran varios valores de parámetros  $S$ ,  $W$  y  $\Delta n_t$  como se resume en la tabla 1 siguiente.

30 **[0046]** El miembro izquierdo de la desigualdad anterior se denominará de aquí en adelante como "criterio de aceptación".

35 **[0047]** En el contexto de la experimentación llevada a cabo sobre fibras ópticas de modos múltiples, los inventores descubrieron inesperadamente que cuanto mayor es la zanja deprimida, mayor es el número de modos de fuga que se propagan dentro de la fibra óptica, por lo que mayor es la sobrestimación de la medida de tamaño del núcleo. A partir de este principio, se simularon fibras ópticas asistidas por zanjas deprimidas con diversos valores de los parámetros  $S$ ,  $W$  y  $\Delta n_t$ , para así establecer una relación entre estos parámetros, que permita optimizar el equilibrio entre la resistencia a curvatura y el impacto de modos de fuga inherentes al concepto de asistencia por zanja.

40 **[0048]** De acuerdo con una realización particular, estos parámetros de zanja  $\Delta n_t$ ,  $W$ ,  $S$ , se ajustan adicionalmente para que satisfagan además las siguientes condiciones:

- $S$  está comprendido entre  $0,6 \mu\text{m}$  y  $1,6 \mu\text{m}$ ;
- $\Delta n_t$  está comprendida entre  $-11 \cdot 10^{-3}$  y  $-4 \cdot 10^{-3}$ ;
- el producto  $W \times \Delta n_t \cdot 10^3$  (denominado en adelante "volumen de zanja") es inferior a  $-25 \mu\text{m}$ .

Tabla 1

	S ( $\mu\text{m}$ )	W ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta n_t$ (expresado en $10^{-3}$ )	Sobrestimación ( $\mu\text{m}$ )	$W \times \Delta n_t \times 10^3$	Criterio de aceptación
5	0,89192	2,6	-9,7851	0,4	-25	-35
	0,73795	2,5	-10,2382	0,3	-26	-35
	0,68943	2,6	-10,3826	0,4	-27	-35
10	0,64589	2,6	-10,5123	0,4	-27	-35
	0,60716	2,6	-10,6276	0,4	-28	-35
	0,57308	2,6	-10,729	0,5	-28	-35
15	0,54353	2,7	-10,817	0,5	-29	-35
	0,51838	2,7	-10,8919	0,5	-29	-35
	0,49756	2,7	-10,9539	0,5	-30	-35
20	0,62061	2,9	-10,4238	0,5	-30	-35
	0,50115	3,3	-9,0589	0,6	-30	-34
	0,20499	3,6	-8,2694	0,6	-30	-33
25	0,49982	3,8	-8,0059	0,6	-30	-32
	0,95182	3,0	-10,2323	0,7	-30	-31
	0,67222	3,9	-7,82	0,8	-30	-30
30	0,74906	3,9	-7,7189	0,8	-30	-29

[0049] A partir de esta tabla, debe observarse que la variación en las mediciones del tamaño del núcleo óptico (denominado "sobrestimación" en la tabla) para una fibra óptica de la invención sujeta a las condiciones OFL no excede de 0,8  $\mu\text{m}$ . En términos generales, para caracterizar una fibra óptica de modos múltiples en condiciones OFL, la fibra óptica está sujeta a un punto de una fuente de luz acoplada a ella para excitar igualmente todos los modos guiados y de fuga. El patrón de campo cercano del punto se observa luego en la salida de la fibra óptica y se procesa posteriormente para evaluar el tamaño del núcleo óptico. Se observa aquí que, cuando los valores de los parámetros  $\Delta n_t$ , W, S, se eligen para cumplir el criterio de aceptación (es decir, inferior a -30), el impacto de los modos con fuga en el patrón del campo cercano se reduce significativamente, lo que hace que la sobrestimación de las medidas del tamaño del núcleo óptico, sea insignificante (es decir, inferior a 1,0  $\mu\text{m}$ ). Por lo tanto, en comparación con las fibras ópticas asistidas por zanja de la técnica anterior para las cuales la sobrestimación del tamaño del núcleo suele tender a ser superior a 1,0  $\mu\text{m}$ , las de la invención conducen a mediciones de caracterización mucho más precisas.

[0050] Para mantener una alta resistencia a pérdidas por curvatura para un radio de curvatura de 5  $\mu\text{m}$ , la zanja deprimida según la invención está diseñada para tener un volumen de zanja ( $W \times \Delta n_t \cdot 10^3$ ) inferior a -25  $\mu\text{m}$ . De hecho, como se analizará más detalladamente a continuación en relación con la figura 3, las simulaciones mostraron que las pérdidas por curvatura, así como el número de modos de fuga, dependen principalmente del volumen de zanja de la fibra óptica.

[0051] El parámetro S se elige para permitir el ajuste del ancho de banda modal de la fibra óptica de modos múltiples: S está comprendido entre 0,6  $\mu\text{m}$  y 1,6  $\mu\text{m}$ .

[0052] La profundidad de zanja  $\Delta n_t$  está comprendida entre  $-11 \cdot 10^{-3}$  y  $-4 \cdot 10^{-3}$ , y más preferentemente entre  $-8 \cdot 10^{-3}$  y  $-4 \cdot 10^{-3}$ . Este rango de valores permite la producción e implementación a gran escala de fibras ópticas.

[0053] Al elegir los valores apropiados de los parámetros  $\Delta n_t$ , W, S para que cumplan el criterio de aceptación, la invención ofrece así un diseño asistido por zanja que permite una alta resistencia a pérdidas por curvatura, además de un número reducido de modos de fuga.

[0054] Como ejemplo estrictamente ilustrativo, el radio del núcleo óptico  $a$  es de aproximadamente 25  $\mu\text{m}$  y el parámetro  $\alpha$  del perfil de índice del núcleo óptico es aproximadamente 2. El núcleo óptico tiene una diferencia máxima de índice de refracción  $\Delta n_0$  con respecto a la capa exterior de aproximadamente  $14 \cdot 10^{-3}$  y una diferencia de índice de refracción normalizada  $\Delta$  de aproximadamente 1. El final del revestimiento interior está situado a una distancia radial  $r_c$ , sustancialmente igual a 27,5  $\mu\text{m}$  del centro de la fibra óptica. La zanja deprimida está situada entre el revestimiento interior y el revestimiento exterior a una distancia radial entre  $r_c$  y  $r_t$ , sustancialmente igual a 31,5  $\mu\text{m}$  desde el centro de la fibra óptica.  $\Delta n_t$  es esencialmente igual a  $-5,5 \cdot 10^{-3}$ , S sustancialmente igual a 1,5  $\mu\text{m}$  y W esencialmente igual a 5  $\mu\text{m}$ , que representa un volumen de zanja  $W \times \Delta n_t \cdot 10^3$  de -22 El extremo exterior de la zanja está separado del centro de la fibra óptica en un radio  $r_t$  de aproximadamente 32  $\mu\text{m}$  y el extremo interior de la zanja está separado del centro de la fibra óptica en un radio  $r_c$  de aproximadamente 27  $\mu\text{m}$ .

**[0055]** En la realización particular ilustrada en la figura 1, el revestimiento interior tiene un índice de refracción

constante estándar que es sustancialmente igual al del revestimiento exterior  $n_1 = n_0 \cdot \sqrt{1 - 2\Delta}$ . También se podría prever, en una realización alternativa de la invención, que el revestimiento interior tenga una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior que puede estar comprendida entre aproximadamente  $-0,4 \times 10^{-3}$  y  $2,0 \times 10^{-3}$ . Esta diferencia de índice de refracción, que es negativa o positiva con respecto al revestimiento exterior, se puede obtener dopando el revestimiento interior de forma adecuada durante el proceso de fabricación. Como ejemplo ilustrativo, una diferencia de índice de refracción positiva de  $0,5 \times 10^{-3}$  permite garantizar un amplio ancho de banda modal de la fibra óptica de modos múltiples.

**[0056]** Las ventajas de la invención serán más evidentes comparando las fibras ópticas de la técnica anterior con una fibra óptica ejemplar de acuerdo con la invención.

**[0057]** El gráfico de la figura 2 representa el volumen de zanja deprimida de fibras ópticas asistidas por zanja de la técnica anterior y de fibras ópticas asistidas por zanja de la invención como una función del criterio de aceptación de la invención (cuyo principio se detalló anteriormente en relación con la figura 1). En el eje y se representan los valores del volumen de zanja  $W \times \Delta n \cdot 10^3$  de la tabla 1 ilustrada anteriormente y en el eje x se representan diferentes valores del criterio de aceptación.

**[0058]** Comparando el criterio de aceptación aplicado tanto a las fibras ópticas asistidas por zanja de la técnica anterior como a las fibras ópticas de la invención, el gráfico de la figura 2 muestra la calidad del modelo que conduce al establecimiento del criterio de aceptación según la invención. En particular, se puede observar que ninguna de las fibras ópticas de zanja asistida de la técnica anterior cumple el criterio de aceptación de la invención. Contrariamente a la invención, ninguna de las fibras ópticas de la técnica anterior ofrece un diseño asistido por zanjas que permita una alta resistencia a las pérdidas por curvatura, además de un número reducido de modos de fuga.

**[0059]** La figura 3 representa gráficamente las pérdidas por curvatura de las fibras ópticas de acuerdo con la invención medidas para 2 vueltas con un radio de curvatura de 7,5 mm y a una longitud de onda de 850 nm, en función del volumen de zanja de estas fibras ópticas.

**[0060]** En la parte izquierda el eje y se representa pérdidas por macro-curvatura o sensibilidad a macro-curvatura (expresada en dB) de un conjunto de fibras ópticas medidas a 850 nm en condiciones de lanzamiento definidas en la norma IEC60793-1-47. El término "BL 2tr 7.5µm 850nm" se refiere a las condiciones de lanzamiento bajo las que se han hecho las mediciones: las fibras ópticas se ha sometido a una longitud de onda de 850 nm para 2 vueltas alrededor de un mandril de radio de curvatura de 7,5 mm. El volumen de zanja  $W \times \Delta n \cdot 10^3$  (expresado en µm) se representa en el eje x del gráfico. También se ha añadido un eje y a la derecha para representar la relación entre el volumen de zanja  $W \times \Delta n \cdot 10^3$  y la contribución del modo de fuga (expresado en%) medido en estas fibras ópticas.

**[0061]** Se puede ver que las fibras ópticas de modos múltiples asistidas por zanja según la invención muestran pérdidas por curvatura inferiores a 0,4 dB, mientras que tienen una contribución al modo de fuga relativamente baja, inferior al 0,03%. El área sombreada indica particularmente las fibras ópticas que no cumplen con los requisitos del volumen de la zanja ( $W \times \Delta n \cdot 10^3 \leq -25 \mu\text{m}$ ).

**[0062]** Por lo tanto, esto demuestra que las fibras ópticas de modos múltiples de acuerdo con la invención ofrecen una compensación mejorada entre la resistencia a la curvatura y la resistencia a modos de fuga.

**[0063]** Finalmente, en otra realización, la invención se refiere a un sistema óptico que comprende al menos una porción de una fibra óptica de modos múltiples descrita aquí anteriormente en cualquiera de sus diferentes realizaciones. Este sistema óptico de modos múltiples puede ser una red doméstica óptica, tal como una red de área local (LAN) y/o por ejemplo, una unidad de múltiples viviendas (MDU).

**REIVINDICACIONES**

1. Fibra óptica de modos múltiples que comprende un núcleo óptico y un revestimiento óptico que rodea el núcleo óptico, teniendo el núcleo óptico un perfil de índice de refracción gradual, comprendiendo el revestimiento óptico:

- 5 - una capa interior que rodea dicho núcleo óptico,
- una capa intermedia, llamada "zanja deprimida", que rodea dicha capa interior,
- una capa exterior que rodea dicha zanja deprimida y que tiene un índice de refracción constante, teniendo dicha zanja deprimida una anchura W y una diferencia de índice de refracción negativa  $\Delta n_t$  respecto de la capa exterior, caracterizado porque dicha zanja deprimida está dispuesta para satisfacer la siguiente desigualdad:

$$|0,585677 - 114,681X S + 13,7287 X S^2 + 18,7343 X S X W - 4,6112XSX \Delta n_t \cdot 10^3 - 0,913789XWX \Delta n_t \cdot 10^3 |$$

$$10 \quad + 2XWX \Delta n_t \cdot 10^3 < -30$$

donde:

S es la anchura de la capa interior, que está comprendida entre 0,6  $\mu\text{m}$  y 1,6  $\mu\text{m}$ ;

$\Delta n_t$  está comprendida entre  $-8 \times 10^{-3}$  y  $-4 \times 10^{-3}$ ;

$W \times \Delta n_t \cdot 10^3$  es inferior a  $-25 \mu\text{m}$ ;

- 15 y en la que el extremo exterior de dicha zanja deprimida está separado del centro de la fibra óptica por un radio  $r_t$  inferior a 32  $\mu\text{m}$ .

2. Fibra óptica de modos múltiples según la reivindicación 1, en la que la anchura S de la capa interior está comprendida entre 0,8  $\mu\text{m}$  y 1,2  $\mu\text{m}$ .

- 20 3. Fibra óptica de modos múltiples según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en la que la capa interior tiene un índice de refracción constante sustancialmente igual al índice de refracción de la capa exterior.

- 25 4. Fibra óptica de modos múltiples según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en la que la capa interior tiene una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_t$  con respecto a la capa exterior que está comprendida entre aproximadamente  $-0,40 \times 10^{-3}$  y  $2,00 \times 10^{-3}$ , y más precisamente entre aproximadamente  $-0,20 \times 10^{-3}$  y  $1,10 \times 10^{-3}$ , y aún más precisamente entre aproximadamente  $-0,10 \times 10^{-3}$  y  $0,60 \times 10^{-3}$ .

- 30 5. Fibra óptica de modos múltiples según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que el perfil de índice gradual del núcleo óptico es un perfil de índice gradual en alfa con un parámetro alfa comprendido entre 1,9 y 2,1.

- 35 6. Fibra óptica de modos múltiples según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el núcleo óptico tiene una diferencia de índice de refracción máxima  $\Delta n_0$  respecto de la capa exterior comprendida entre aproximadamente  $11 \times 10^{-3}$  y  $18 \times 10^{-3}$ , más precisamente entre aproximadamente  $13 \times 10^{-3}$  y  $16 \times 10^{-3}$ .

- 7. Fibra óptica de modos múltiples según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que tiene una apertura numérica de entre 0,185 y 0,215.

- 40 8. Fibra óptica de modos múltiples según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que el núcleo óptico tiene un radio a, medido desde el centro de la fibra óptica, comprendido entre aproximadamente 22  $\mu\text{m}$  y 27  $\mu\text{m}$ .

9. Sistema óptico de modos múltiples que comprende al menos una fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.



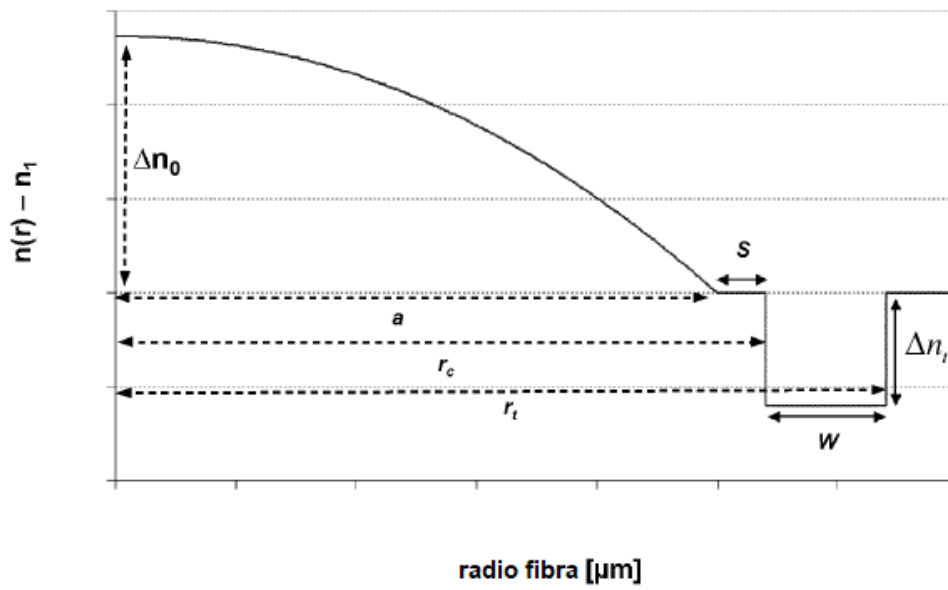


Figura 1

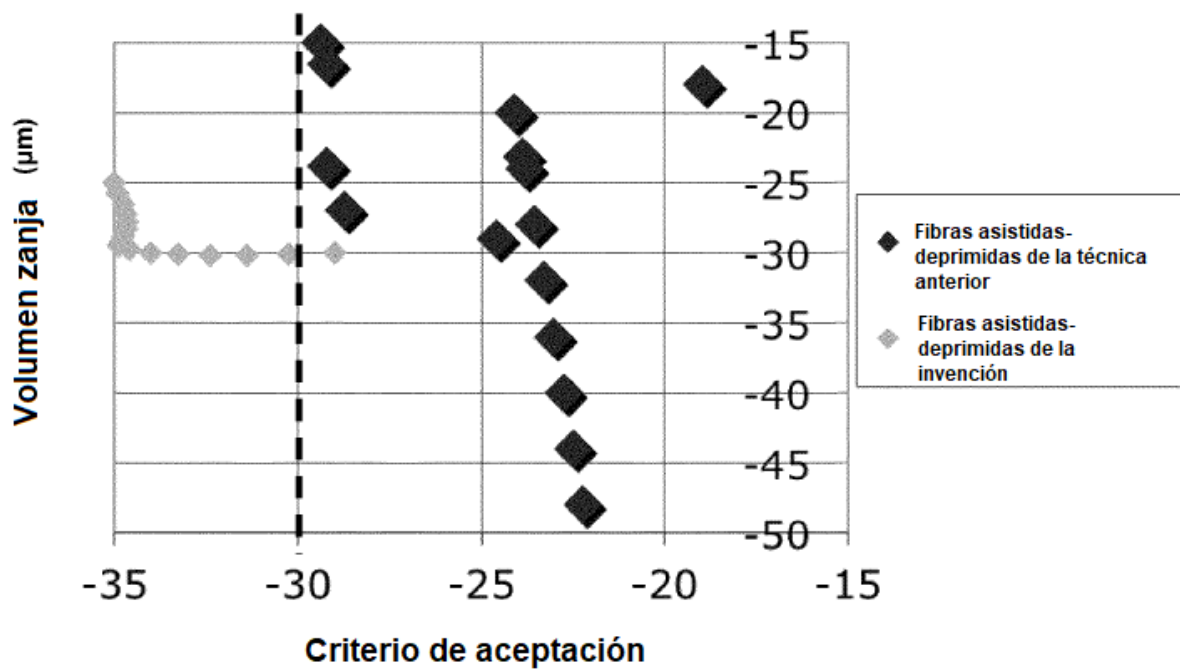


Figura 2

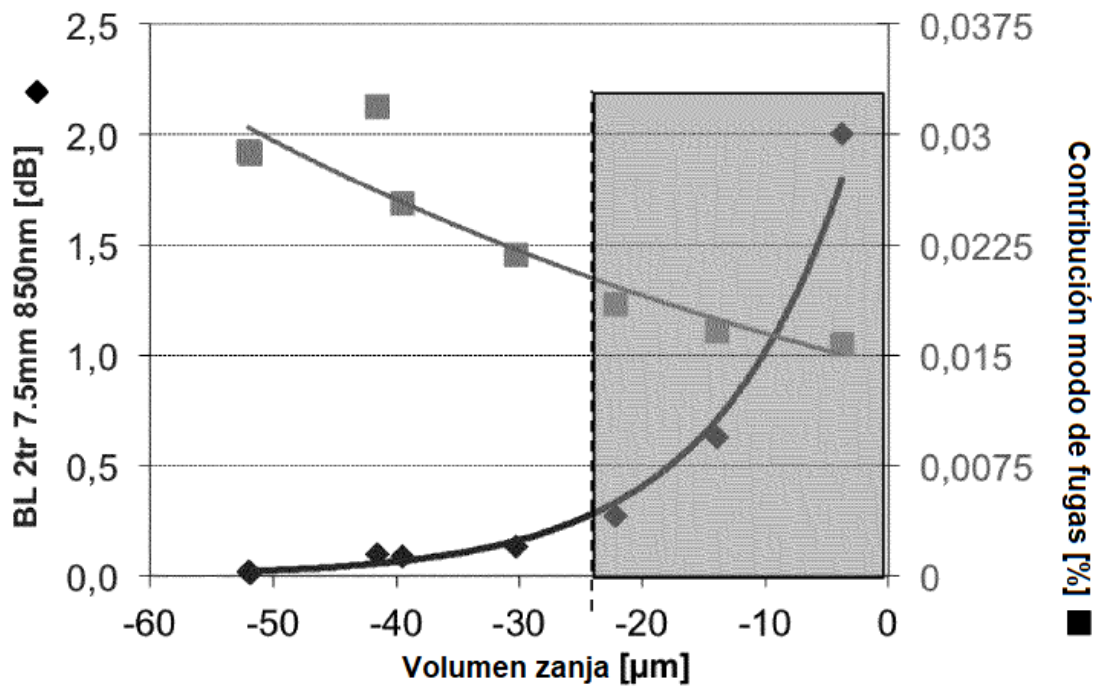


Figura 3

**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 citados en la descripción**

- US 20090154888 A [0010]
- US 20080166094 A [0010]
- JP 2006047719 A [0010]
- US 20110123161 A [0010]
- US 20100067858 A [0010]
- US 2011058781 A [0011]
- US 20130028564 A1 [0011]

10