

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 244**

51 Int. Cl.:

G02B 6/028 (2006.01)

G02B 6/036 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2010 E 10175717 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2016 EP 2299302**

54 Título: **Fibra óptica multimodo que tiene pérdidas por curvatura mejoradas**

30 Prioridad:

09.09.2009 FR 0904305
11.09.2009 US 241592 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.03.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MOLIN, DENIS y
SILLARD, PIERRE

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 606 244 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 que tiene pérdidas por curvatura mejoradas

5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de las transmisiones por fibra óptica y, más específicamente, a una fibra óptica multimodo que tiene pérdidas por curvatura reducidas sin ningún aumento significativo en su apertura numérica.

[0002] De manera estándar, una fibra óptica, está compuesta por un núcleo óptico cuya función es transmitir y opcionalmente amplificar una señal óptica, y un revestimiento óptico exterior cuya función es confinar la señal óptica dentro del núcleo. Con este fin, los índices de refracción del núcleo n_c y del revestimiento n_g son tales que $n_c > n_g$.

10 **[0003]** El perfil de índice de refracción se indica como el gráfico de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra óptica. De manera estándar, la distancia al centro de la fibra óptica se muestra en el eje x mientras que en el eje y se muestra la diferencia entre el índice de refracción para esa posición radial y el índice de refracción del revestimiento óptico exterior. Generalmente, el perfil del índice de refracción se califica según su apariencia. Por lo tanto, el perfil de índice de refracción se describe en términos de un "escalón", "trapecio", "triángulo" o "alfa" para gráficos que respectivamente tienen formas de escalón, trapecio, triángulo o gradual. Estas curvas son representativas del perfil teórico o establecido de la fibra, en tanto que las limitaciones de fabricación de la fibra pueden dar como resultado un perfil ligeramente diferente.

15 **[0004]** Existen dos tipos principales de fibras ópticas, que son las fibras multimodo y las fibras de modo único. En una fibra multimodo, 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 un orden más alto son fuertemente atenuados.

20 **[0005]** Las fibras multimodo con gradiente de índice con un perfil "alfa" del núcleo central se han utilizado durante muchos años. Sus características han sido descritas en particular en " Multimode theory of graded-core fibres " por D. Gloge et al., Bell system Technical Journal 1973, páginas 1563-1578 y resumidas en " Comprehensive theory of dispersion in graded-index optical fibers" por G. Yabre, Journal of Lightwave Technology, febrero de 2000, vol. 18, N° 2, páginas 166 a 177.

25 **[0006]** Un perfil de índice gradual o perfil de índice alfa (α) - estos dos términos son equivalentes - puede definirse por una relación entre el valor de índice de refracción n en un cierto punto en función de la distancia r desde este punto al centro de la fibra óptica:

$$n = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{r_1}\right)^\alpha}$$

con $\alpha \geq 1$;
 n_1 , el índice máximo del núcleo multimodo;
 r_1 , el radio del núcleo multimodo; y

35

$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_0^2)}{2n_1^2}$$

Donde n_0 es el índice mínimo del núcleo central multimodo, que generalmente corresponde al índice del revestimiento óptico exterior (más a menudo hecho de sílice).

40 **[0007]** Sin embargo, cada modo se propaga con su propia constante de propagación con la que puede asociarse un índice de refracción efectivo n_{eff} , que es una función del perfil de índice de refracción de la fibra óptica y de la longitud de onda.

45 **[0008]** La figura 1 muestra el perfil de índice de refracción de una fibra óptica de perfil α de acuerdo con la técnica anterior. El eje x inferior muestra el radio de la fibra óptica, mostrando a la izquierda del eje y, el índice de refracción de perfil α de la fibra óptica. Una fibra óptica multimodo de perfil α , tiene por lo tanto un perfil de núcleo central con una simetría de rotación de tal manera que en cualquier dirección radial el valor del índice de refracción disminuye continuamente desde el centro de la fibra óptica hasta su periferia. El gráfico también muestra los modos que se propagan en la fibra óptica. A la derecha del eje y se muestran los índices de refracción efectivos relativos de los modos de propagación, es decir, la diferencia entre el índice de refracción efectivo del modo y el índice de refracción del revestimiento óptico exterior. Una referencia llamada índice azimutal, que se muestra en la parte superior del eje x, corresponde a cada modo. Normalmente, los modos se reúnen en grupos de modos visibles en una dirección horizontal del gráfico. Por ejemplo, la fibra mostrada comprende 18 grupos de modos.

50 **[0009]** La apertura numérica (NA) de una fibra óptica se define por la expresión:

$$NA = \sqrt{n_{eff, \max}^2 - n_{eff, \min}^2}$$

donde $n_{eff, \min}$ y $n_{eff, \max}$, son respectivamente los índices de refracción efectivos mínimos y máximos de los modos comprendidos en la señal medida a la salida de la fibra bajo condiciones de OFL (inyección saturada), es decir,

[0010] Sin embargo, se obtiene una buena aproximación de la apertura numérica con la expresión:

$$ON = \sqrt{n_{\max}^2 - n_{\min}^2}$$

donde n_{\max} y n_{\min} son respectivamente los índices de refracción máximo y mínimo del perfil de índice de refracción de fibra óptica.

[0011] Es conocido reducir las pérdidas por curvatura de una fibra óptica de índice gradual multimodo mediante la adición de una zanja deprimida entre el núcleo central y el revestimiento óptico exterior. Sin embargo, la adición de tal zanja deprimida da como resultado el desarrollo de modos de propagación adicionales conocidos como modos de fuga.

[0012] La figura 2 muestra el perfil de índice de refracción de la fibra óptica de acuerdo con la técnica anterior como se muestra en la figura 1, a la que se ha añadido una zanja deprimida entre el núcleo central y el revestimiento óptico exterior. Se observan modos de propagación adicionales con respecto a la figura 1, situados por debajo del valor cero del índice de refracción efectivo relativo. Estos modos adicionales de propagación o modos de fuga se colocan en 5 grupos de modos. Los modos de fuga tienen índices de refracción efectivos que son inferiores a los de los modos guiados. Esto conduce a un aumento de la apertura numérica NA en las fibras ópticas de índice gradual que comprende una zanja deprimida, en comparación con las fibras ópticas de índice gradual sin una zanja deprimida. Tal diferencia en la apertura numérica puede conducir a pérdidas durante las conexiones dentro de un sistema que comprende fibras de índice gradual con una zanja deprimida y fibras de índice gradual sin una zanja deprimida. Por lo tanto, la adición de una zanja deprimida a un perfil de índice gradual da lugar a un aumento en la NA, lo cual es indeseable. Por lo tanto, se desea limitar el aumento de NA como resultado de la adición de una zanja deprimida.

[0013] Los documentos US-A-2008/0166094 y WOA-2008/085851, describen la utilización de una zanja deprimida para reducir las pérdidas por curvatura en una fibra óptica de índice gradual. Sin embargo, estos documentos no indican cómo asegurar que la apertura numérica aumente sólo ligeramente con respecto a la apertura numérica de una fibra de índice gradual sin una zanja deprimida. En otras palabras, cómo evitar un gran aumento en la apertura numérica debido a la adición de una zanja deprimida.

[0014] El documento WO-A-2006/010798, describe una fibra óptica que comprende un núcleo central de índice gradual y una zanja deprimida. El perfil de índice gradual del núcleo central se extiende por debajo del índice de refracción del revestimiento óptico exterior, hasta el fondo de la zanja deprimida. En otras palabras, no hay una caída abrupta en el índice de refracción al comienzo de la zanja deprimida, sino que en su lugar hay una disminución gradual hasta que se alcanza el fondo de la zanja deprimida. La extensión del núcleo central en forma de alfa debajo del índice de refracción del revestimiento óptico exterior hasta el fondo de la zanja deprimida, limita la reducción de las pérdidas por curvatura al tiempo que aumenta la apertura numérica. Esto es indeseable. Además, el documento WO-A-2006/010798, no indica cómo asegurar que la apertura numérica aumente sólo ligeramente con respecto a la apertura numérica de una fibra óptica de índice gradual sin una zanja deprimida.

[0015] El documento WO 2009078962 se refiere a una fibra óptica multimodo resistente a curvatura que comprende: un núcleo de vidrio de índice gradual y un revestimiento interior que lo rodea y en contacto con el núcleo y un segundo revestimiento que comprende una porción anular de índice deprimido que rodea el revestimiento interior, teniendo dicha porción anular de índice deprimido un delta de índice de refracción inferior a aproximadamente -0,2% y una anchura de, al menos, 1 micrómetro, en la que la anchura de dicho revestimiento interior es de, al menos, 0,5 micrómetros y menor de 4 micrómetros.

[0016] El documento WO 2010/138653 se refiere a una fibra óptica que a 850 nm es multimodo, que comprende un núcleo de vidrio multimodo de índice gradual que tiene un núcleo óptico de radio comprendido entre 21 y 27 micrómetros y un delta de índice de refracción máximo a 850 nm, Δ_{1MAX} , una región anular de índice deprimido que rodea dicho núcleo multimodo que presenta un delta de índice de refracción a 850 nm, Δ_{2MIN} , en la que el límite interior de dicha región de índice deprimido es una extensión del núcleo de índice gradual, teniendo la región deprimida un volumen de foso mayor del 105% - urn^2 , y una región de revestimiento exterior que rodea a dicha región de índice deprimido y que presenta un delta de índice de refracción a 850 nm, Δ_3 , en donde $\Delta_{1MAX} > \Delta_3 > \Delta_{2MIN}$ y en la que la fibra presenta (a) un ancho de banda de saturado superior a 1,5 GHz-km a una longitud de onda de 850 nm, y (b) un aumento de la atenuación de enrollado de una vuelta a mandril de 10 mm de diámetro a una longitud de onda de 1550 nm, inferior a 0,28 dB.

[0017] Por lo tanto, existe necesidad de una fibra óptica de índice gradual que tenga pérdidas de curvatura reducidas, sin mostrar sin embargo un aumento significativo en su apertura numérica.

[0018] Para este propósito, la invención propone una fibra óptica multimodo según la reivindicación 1.

[0019] De acuerdo con una realización, la fibra tiene un aumento inferior a 0,015 de la apertura numérica con respecto a una fibra que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.

[0020] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene un aumento inferior a 0,010 de la apertura numérica con respecto a una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.

[0021] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene un núcleo central de diámetro $62,5 \pm 3 \mu\text{m}$ y una apertura numérica de $0,275 \pm 0,015$.

[0022] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene un núcleo central de diámetro $50 \pm 3 \mu\text{m}$ y una apertura numérica de $0,2 \pm 0,015$.

[0023] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene una diferencia de índice de refracción de la zanja deprimida Δn_1 con respecto al revestimiento óptico exterior que está comprendido entre -6×10^{-3} y -15×10^{-3} .

[0024] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene una diferencia de índice de refracción de la zanja deprimida Δn_1 con respecto al revestimiento óptico exterior que está comprendido entre -7×10^{-3} y -10×10^{-3} .

[0025] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene una anchura W_t de la zanja deprimida que es menor de $4,5 \mu\text{m}$, preferiblemente igual o mayor que $1,5 \mu\text{m}$ o igual o mayor que $2 \mu\text{m}$.

[0026] De acuerdo con una realización, la diferencia entre el radio r_2 del revestimiento interior y el radio r_1 del núcleo central (es decir, la anchura del revestimiento interior) está comprendida entre 0 y $5 \mu\text{m}$.

[0027] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene una diferencia entre el radio r_2 del revestimiento interior y el radio r_1 del núcleo central que es $0 \mu\text{m}$ (es decir $r_1 = r_2$) y por lo tanto la zanja deprimida está en contacto directo con el núcleo central.

[0028] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 15 mm , reducidas en, al menos, el 40% con respecto a una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.

[0029] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 10 mm , reducidas en, al menos, el 30% con respecto a una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.

[0030] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de $7,5 \text{ mm}$, reducidas en al menos el 20% con respecto a una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.

[0031] De acuerdo con una realización, la fibra óptica tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 mm , reducidas en, al menos, el 20% con respecto a una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.

[0032] Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes de la lectura de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la invención, dada solamente a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos que muestran:

La figura 1, un perfil de índice de refracción de una fibra óptica que tiene un perfil de índice de refracción alfa (α) y los modos que se propagan en la fibra óptica.

La figura 2, un perfil de índice de refracción de la fibra óptica de la figura 1 que comprende una zanja deprimida añadida y los modos que se propagan en la fibra óptica.

La figura 3, un ejemplo de un perfil de índice de refracción de una fibra óptica según la técnica anterior.

La figura 4, un gráfico que muestra las pérdidas de fuga de los modos de fuga en función de los Índices de refracción efectivos relativos de los modos, en la fibra óptica mostrada en la figura 2.

La figura 5, la distribución de potencia de modo de los modos que se propagan en fibras ópticas que tienen diferentes volúmenes de zanja deprimidos, en función del número de modo principal de los modos.

La figura 6, el aumento resultante de la apertura numérica inducida en una fibra óptica a la que se ha añadido una zanja deprimida, en función del volumen de la zanja deprimida.

La figura 7, las pérdidas por curvatura para 2 vueltas alrededor de un radio de curvatura R_c que varía entre 5 mm y 15 mm , en función del volumen de la zanja deprimida.

La figura 8, un ejemplo adicional de un perfil de índice de refracción de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

La figura 9, que muestra la distribución de potencia en modo después de 2 m bajo condiciones OFL de fibras multimodo asistidas por zanjas con una anchura de zanja de $2 \mu\text{m}$ y diferentes profundidades.

[0033] El perfil de índice de refracción de una fibra óptica según la técnica anterior se describirá mejor con referencia a la figura 3. El perfil de índice de refracción de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención se describirá mejor con referencia a la figura 8. La fibra óptica de acuerdo con la técnica anterior es una fibra óptica multimodo que comprende un núcleo central que tiene un radio r_1 y un perfil de índice alfa con respecto a un revestimiento óptico exterior y una zanja deprimida que tiene una anchura W_t (μm) y una diferencia de índice Δn_1 entre su índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento óptico exterior. El volumen V (μm) de la zanja deprimida se define por la expresión $V = 1000 \times W_t \times \Delta n_1$. La fibra óptica de acuerdo con la presente invención es una fibra óptica multimodo que comprende un núcleo central que tiene un radio r_1 y un perfil de índice alfa con respecto a un revestimiento óptico exterior, un revestimiento interior que tiene un radio r_2 y una diferencia de índice de refracción Δn_2 con respecto al revestimiento óptico exterior, y una zanja deprimida que tiene una anchura W_t (μm) y una diferencia de índice Δn_1 entre su índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento óptico exterior. El volumen V (μm) de la zanja deprimida se define por la expresión $V = 1000 \times W_t \times \Delta n_1$. La fibra óptica de acuerdo con la invención es tal que la diferencia de índice de refracción entre el extremo del núcleo central gradual y el revestimiento óptico exterior es cero y el volumen V de la zanja deprimida está comprendido entre $-40 \mu\text{m}$ y $-30 \mu\text{m}$.

La gama de valores del volumen V de la zanja deprimida y la diferencia de índice de refracción entre el extremo del núcleo central gradual y el revestimiento óptico exterior, aseguran que los modos de fuga que se propagan en la zanja deprimida tienen una potencia limitada. De este modo, los modos de fuga, contribuyen de forma limitada a la señal transmitida por la fibra óptica de acuerdo con la invención y la apertura numérica se aumenta en una cuantía limitada en comparación con una fibra de índice gradual sin una zanja deprimida. De este modo, la fibra óptica de índice gradual de acuerdo con la presente invención tiene pérdidas por curvatura reducidas, sin embargo, sin mostrar un aumento significativo en su apertura numérica. A continuación se explican con más detalle las ventajas de la fibra óptica según la invención.

[0034] En una fibra óptica de índice gradual multimodo que comprende una zanja deprimida, los modos de fuga experimentan pérdidas de fuga durante su propagación en la fibra óptica. La figura 4 muestra las pérdidas de fuga en dB/m, experimentadas por los modos de fuga en función de sus índices de refracción efectivos relativos de la fibra óptica, el perfil de índice de refracción de la cual se representa en la figura 2. Los cinco gráficos sucesivos muestran cada uno de los diferentes grupos de modos.

[0035] Al comparar los gráficos de los grupos de modos, se observa que los grupos de modos que tienen índices de refracción efectivos menores de $-2,5 \times 10^{-3}$, tienen modos en los que las pérdidas de fuga son mayores de 1 dB/m. Sin embargo, los grupos de modos que tienen índices de refracción efectivos mayores de $-2,5 \times 10^{-3}$, tienen modos cuyas pérdidas de fugas pueden ser inferiores a 1 dB/m. Así, cuanto más bajo sea el índice de refracción efectivo del grupo de modos, mayores serán las pérdidas por fuga. Como resultado de ello, los grupos de modos de fuga contribuyen de manera diferente a la señal que se propaga a lo largo de la fibra, dependiendo del valor de su índice de refracción efectivo.

[0036] La influencia de los modos de fuga en el cálculo de la apertura numérica se comprenderá mejor con referencia a la figura 5. La figura 5 muestra la distribución de potencia en los grupos de modos después de la propagación durante dos metros sobre una fibra óptica que ha experimentado una excitación en OFL (inyección saturada), es decir, con una excitación uniforme para todos los grupos de modos. El eje x muestra el número de modo principal o el orden de cada grupo de modos.

[0037] Las curvas 1 a 10, se recaban en fibras ópticas de índice gradual que tienen una anchura de zanja deprimida de $9 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción Δn_t comprendida entre -1×10^{-3} y -10×10^{-3} . En otras palabras, las curvas 1 a 10 corresponden a fibras cuyo volumen de la zanja deprimida varía entre -9 y $-90 \mu\text{m}$.

[0038] La curva de la figura 5, indicada como "REF", es la curva de referencia característica de una fibra óptica de índice gradual sin una zanja deprimida. Se observa que los 18 grupos de primer modo tienen una contribución de potencia creciente. El 18º grupo de modos, es el grupo de modos para el que se utiliza el índice de refracción efectivo como índice de refracción efectivo mínimo $n_{\text{eff, min}}$, cuando se calcula la apertura numérica de la fibra óptica. Se halla entonces una apertura numérica de 0,190.

[0039] Mediante la adición de una zanja deprimida a la fibra de referencia, se añaden grupos de modos adicionales. Por ejemplo, la curva 6 corresponde a una fibra de referencia a la que se ha añadido una zanja de ancho $9 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de -6×10^{-3} . Se observa que la curva 6 tiene 8 grupos de modos de fuga adicionales en comparación con la curva de referencia, es decir, los grupos de modos de orden 19 a 26. Cuando se calcula la apertura numérica de la fibra óptica correspondiente a la curva 6, el grupo de modos de orden 26 debe ser aquel cuyo índice de refracción efectivo se utilice como índice de refracción eficaz mínimo $n_{\text{eff, min}}$.

[0040] Sin embargo, al calcular la apertura numérica, se considera que la contribución de un grupo de modos es significativa si se satisface la siguiente relación:

$$\sum_{i=1}^n 10^{-2\alpha_i} > E\left(\frac{m-1}{2}\right)$$

donde n es el número de modos del grupo de modos de orden m, α_i es la pérdida de fuga en dB/m del i-ésimo modo del

grupo de modos de orden m, y $E\left(\frac{m-1}{2}\right)$ es la parte entera de la fracción $\frac{m-1}{2}$.

[0041] Esta relación también se puede representar gráficamente por medio de la curva de limitación mostrada en forma de escalón en la figura 5, que representa la función $E\left(\frac{m-1}{2}\right)$. Por lo tanto, para una fibra óptica, el último grupo de modos que tiene su punto que representa su distribución de potencia, situado por encima de la curva de limitación, es el grupo de modos cuyo índice de refracción efectivo puede utilizarse como $n_{\text{eff, min}}$ al calcular la apertura numérica de la fibra óptica.

[0042] En el ejemplo de la fibra óptica que tiene una zanja deprimida con una anchura de $9 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción con el revestimiento óptico exterior de -6×10^{-3} , el último grupo de modos del cual el punto que representa su distribución de potencia, está situado por encima de la curva de limitación, es el grupo de modos de orden 22. Mediante la consideración de los índices de refracción efectivos de los grupos de modos de orden 1 y 22, se halla una apertura numérica de 0,214. El valor numérico de apertura así obtenido, es menor que el que se obtendría considerando el índice de refracción efectivo del grupo de modos de orden 26 que es el último grupo de

modos que se propaga por la fibra óptica. Sin embargo, este valor refleja la apertura numérica real de la fibra óptica multimodo que comprende una zanja deprimida bajo condiciones de funcionamiento.

[0043] De este modo, la atenuación experimentada por los grupos de modos de orden superior permite que sean ignorados al calcular la apertura numérica de la fibra.

5 **[0044]** Las curvas de la figura 5, también muestran que el número de grupos de modos de fuga añadidos por una zanja deprimida dependiendo del volumen de la zanja deprimida.

[0045] La fibra óptica de acuerdo con la presente invención tiene un volumen de zanja deprimida que está comprendido entre $-40 \mu\text{m}$ y $-30 \mu\text{m}$, lo que hace posible limitar el aumento de la apertura numérica con respecto a una fibra óptica sin una zanja deprimida, Permitiendo al mismo tiempo una reducción significativa de las pérdidas por curvatura.

10 **[0046]** El intervalo de valores del volumen de la zanja deprimida se comprenderá mejor haciendo referencia a los gráficos de las figuras 6 y 7.

[0047] El gráfico de la figura 6 muestra en el eje y, la diferencia entre la apertura numérica de una fibra óptica multimodo de perfil α que tiene una zanja deprimida y una fibra óptica multimodo de referencia, es decir, que tiene un perfil alfa (α) equivalente sin una zanja deprimida El volumen de la zanja deprimida se muestra en el eje x. El gráfico muestra los resultados para una fibra óptica de referencia que tiene una apertura numérica de 0,200 y una fibra óptica de referencia que tiene una apertura numérica de 0,215.

15 **[0048]** El gráfico de la figura 7 muestra en el eje y, las pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para 2 vueltas con radios de curvatura R_c de 5 mm, 7,5 mm, 10 mm y 15 mm, sobre una fibra óptica multimodo de perfil α multimodo que tiene una zanja deprimida. El volumen de la zanja deprimida se muestra en el eje x.

[0049] En ambos gráficos, se muestran varias parejas ($W_t, \Delta n_t$) para el mismo valor de volumen.

20 **[0050]** En comparación con una fibra óptica que tiene un perfil de índice de refracción similar pero sin una zanja deprimida, se observa que una fibra óptica multimodo de perfil α que tiene una zanja deprimida con un volumen inferior a $-40 \mu\text{m}$ tiene pérdidas por curvatura para 2 vueltas a 850 nm, que se reducen en, al menos, el 60% con $R_c = 15 \text{ mm}$, al menos, el 50% con $R_c = 10 \text{ mm}$, al menos el 40% con $R_c = 7,5 \text{ mm}$ y al menos el 40% con $R_c = 5 \text{ mm}$. Sin embargo, la apertura numérica de la fibra óptica puede aumentarse en más de 0,015 con respecto a una fibra óptica multimodo de perfil α equivalente sin una zanja deprimida. Esto puede conducir a pérdidas en el caso de conexión a una fibra óptica sin una zanja deprimida.

25 **[0051]** También se observa que una fibra óptica multimodo de perfil α que tiene una zanja deprimida con un volumen mayor de $-30 \mu\text{m}$, muestra un aumento en la apertura numérica menor de 0,010 con respecto a una fibra óptica multimodo de perfil α equivalente sin una zanja deprimida. Sin embargo, con una zanja deprimida que tiene un volumen mayor de $-30 \mu\text{m}$, las pérdidas por curvatura para 2 vueltas a 850 nm con respecto a una fibra que tiene un perfil de índice similar pero sin zanja deprimida, se reducen como mucho el 40% para $R_c = 15 \text{ nm}$, como mucho el 30% para $R_c = 10 \text{ mm}$, como mucho el 20% para $R_c = 7,5 \text{ mm}$, y como mucho el 20% para $R_c = 5 \text{ mm}$. La adición de una zanja deprimida es entonces menos significativa para reducir las pérdidas por curvatura.

30 **[0052]** La fibra óptica de acuerdo con la invención tiene un volumen de zanja deprimida que permite un aumento en la apertura numérica de menos de 0,015 o incluso menos de 0,010, cuando se compara con una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice de refracción pero sin una zanja deprimida. En otras palabras, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención, limita el aumento de la apertura numérica hallada debido a la adición de una zanja deprimida. Las pérdidas por curvatura en la fibra óptica de acuerdo con la invención para 2 vueltas a 850 nm, con respecto a una fibra óptica que tiene un perfil de índice similar sin una zanja deprimida, se reducen en, al menos, el 40% para $R_c = 15 \text{ mm}$, al menos, el 30% para $R_c = 10 \text{ mm}$, al menos, el 20% para $R_c = 7,5 \text{ mm}$ y al menos, el 20% para $R_c = 5 \text{ mm}$. De este modo, la fibra permite limitar el aumento de la apertura numérica con respecto a una fibra sin zanja deprimida, permitiendo al mismo tiempo una reducción significativa de las pérdidas por curvatura.

35 **[0053]** La fibra óptica de acuerdo con la presente invención tiene una diferencia de índice de refracción entre el extremo del núcleo central gradual y el revestimiento óptico exterior que es nulo. Por lo tanto, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención tiene pérdidas por curvatura menores que las de una fibra óptica que tiene un perfil similar, pero cuyo núcleo central se extiende por debajo del revestimiento óptico exterior (por ejemplo según WO-A-2006/010798). Por ejemplo, para pequeños radios de curvatura y para los modos de orden superior, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención tiene pérdidas por curvatura diez veces menores que una fibra óptica que tiene un perfil de índice de refracción similar pero cuyo núcleo central se extiende por debajo del revestimiento óptico exterior.

40 **[0054]** La fibra óptica de acuerdo con la presente invención comprende un revestimiento interior de radio r_2 comprendido entre el núcleo central y la zanja deprimida, con el fin de mejorar el ancho de banda de la fibra óptica. Preferiblemente, el radio r_2 está comprendido entre 0 y $5 \mu\text{m}$ con el fin de obtener un compromiso entre la mejora del ancho de banda de la fibra óptica y el aumento de los costes de producción.

45 **[0055]** La curva de la figura 9, indicada "REF", es la curva de referencia característica de una fibra óptica de índice gradual sin una zanja deprimida. Se observa que los 18 grupos de primer modo tienen una contribución de potencia creciente. El grupo de modos 18° , es el grupo de modos cuyo el índice de refracción efectivo se utiliza como índice de refracción efectivo mínimo $n_{\text{eff, min}}$ cuando se calcula la apertura numérica de la fibra óptica. Se halla entonces una apertura numérica de 0,190.

50 **[0056]** En un ejemplo de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención, la fibra óptica está compuesta por un núcleo central, un revestimiento interior directamente en contacto con éste, una zanja deprimida directamente en contacto con el revestimiento interior y un revestimiento óptico exterior.

5 [0057] La fibra óptica de acuerdo con la presente invención puede tener un diámetro del núcleo central y una apertura numérica típica de una fibra multimodo con el fin de permitir una conexión a una fibra estándar. Así, la fibra óptica puede tener por ejemplo un diámetro del núcleo central de $62,5 \pm 3 \mu\text{m}$ y una apertura numérica de $0,275 \pm 0,015$. La fibra óptica puede tener, por ejemplo, un diámetro del núcleo central de $50 \pm 3 \mu\text{m}$ y una apertura numérica de $0,2 \pm 0,015$.

[0058] Las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención se pueden fabricar mediante estirado de preformas finales.

10 [0059] Se puede fabricar una preforma final, proporcionando una preforma primaria con una capa de recubrimiento exterior (es decir, un proceso de recubrimiento). La capa exterior de recubrimiento consiste en vidrio de sílice dopado o sin dopar, natural o sintético. Varios procedimientos se encuentran disponibles para proporcionar la capa de recubrimiento exterior.

15 [0060] En un primer ejemplo de procedimiento, la capa de recubrimiento exterior puede proporcionarse depositando y vitrificando partículas de sílice naturales o sintéticas en la periferia externa de la preforma primaria, bajo la influencia del calor. Un procedimiento de este tipo se conoce, por ejemplo, a partir de las patentes de Estados Unidos números 5.522.007, 5.194.714, 6.269.663 y 6.202.447.

[0061] En otro ejemplo de procedimiento, una preforma primaria puede ser recubierta con un tubo de funda de sílice, que puede estar dopado o no. Este tubo de funda puede entonces colapsarse sobre la preforma primaria.

20 [0062] En aún otro ejemplo de un procedimiento, se puede aplicar una capa de recubrimiento a través de un procedimiento de deposición externa en fase de vapor (OVD). En este caso, primero se deposita una capa de hollín sobre la periferia exterior de una preforma primaria, y luego la capa de hollín se vitrifica para formar vidrio.

25 [0063] Las preformas primarias se pueden fabricar mediante técnicas de deposición en fase de vapor, tales como deposición externa en fase de vapor (OVD) y deposición axial en fase de vapor (VAD). Alternativamente, las preformas primarias pueden fabricarse a través de técnicas de depósito internas en las que sobre la superficie interna de un tubo sustrato de vidrio de sílice dopado o sin dopar se depositan capas de vidrio, tal como deposición química en fase de vapor modificada (MCVD), deposición química en fase de vapor en horno (FCVD), deposición química en fase de vapor asistida por plasma (PCVD).

[0064] En un ejemplo de una realización, las preformas primarias se fabrican usando un procedimiento de PCVD, que permite controlar la forma del perfil de índice de refracción de gradiente del núcleo central de forma muy precisa.

30 [0065] La zanja deprimida puede depositarse sobre la superficie interna de un tubo de sustrato como parte del proceso de deposición química en fase de vapor. Más típicamente, la zanja deprimida puede fabricarse (i) utilizando un tubo de sustrato dopado con flúor como punto de partida del proceso de deposición interna para la deposición del núcleo central de índice de refracción de gradiente o (ii) mediante enfundado de un tubo de sílice dopado con flúor sobre el núcleo central de índice de refracción de gradiente que se puede producir utilizando un proceso de deposición externa (por ejemplo, OVD o VAD).

35 [0066] En aún otro ejemplo de una realización, se fabrica una preforma primaria mediante un proceso de deposición interna que utiliza un tubo de sustrato dopado con flúor. El tubo resultante que contiene las capas depositadas, puede ser envuelto por uno o más tubos de sílice dopados con flúor adicionales, para aumentar el espesor de la zanja deprimida o para crear una zanja deprimida que tenga un índice de refracción variable sobre su anchura. Aunque no se requiere, uno o más tubos de funda adicionales (por ejemplo, tubos de sustrato dopados con flúor) pueden colapsarse sobre la preforma primaria antes de llevar a cabo una etapa de recubrimiento. El proceso de enfundado y colapso se denomina a veces encamisado y puede repetirse para construir varias capas de vidrio en el exterior de la preforma primaria.

40 [0067] Por supuesto, la presente invención no se limita a las realizaciones descritas a modo de ejemplo. La fibra óptica de acuerdo con la invención se puede instalar en numerosos sistemas de transmisión que tienen buena compatibilidad con las restantes fibras ópticas del sistema.

45 [0068] La fibra óptica de acuerdo con la presente invención se describe con más detalle en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5
1. Fibra óptica multimodo que comprende, desde el centro hasta la periferia, un núcleo central, un revestimiento interior, una zanja deprimida y un revestimiento óptico exterior, en la que:
- el núcleo central tiene un radio r_1 , y un perfil de índice de refracción alfa con un gradiente de índice con respecto al revestimiento óptico exterior;
 - el revestimiento interior tiene un radio r_2 y un índice de refracción constante;
 - la zanja deprimida tiene una anchura W_t y una diferencia del índice de refracción Δn_t con respecto al revestimiento
- 10 óptico exterior, en la que la diferencia de índice de refracción entre el extremo del perfil de índice alfa del núcleo central y el revestimiento óptico exterior es nula, y en la que el volumen V de la zanja deprimida, cuyo volumen está definido por la expresión $V = 1000 \times W_t \times \Delta n_t$, está comprendido entre $-40 \mu\text{m}$ y $-30 \mu\text{m}$, caracterizada porque la diferencia de índice de refracción de la zanja deprimida Δn_t con respecto al revestimiento óptico exterior está comprendida entre -7×10^{-3} y
- 15 -10×10^{-3} .
2. Fibra según la reivindicación 1, en la que la fibra óptica presenta un aumento de apertura numérica menor de 0,010 con respecto a una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice de refracción sin la zanja deprimida.
- 20
3. Fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la anchura W_t de la zanja deprimida es menor de $4,5 \mu\text{m}$, preferiblemente mayor de $1,5 \mu\text{m}$ o incluso mayor de $2 \mu\text{m}$.
4. Fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la diferencia entre el radio r_2 del revestimiento interior y el radio r_1 del núcleo central está comprendida entre 0 y $5 \mu\text{m}$.
- 25
5. Fibra según la reivindicación 4, en la que la diferencia entre el radio r_2 del revestimiento interior y el radio r_1 del núcleo central es de 0 μm y en la que la zanja deprimida se encuentra en contacto directo con el núcleo central.
6. Fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el núcleo central tiene un diámetro de $62,5 \pm 3 \mu\text{m}$ y una apertura numérica de $0,275 \pm 0,015$.
- 30
7. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en la que el núcleo central tiene un diámetro de $50 \pm 3 \mu\text{m}$ y una apertura numérica de $0,2 \pm 0,015$.
- 35
8. Fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 15 mm, reducidas en, al menos, el 40% con respecto a una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.
9. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 10 mm, reducidas en, al menos, el 30% con respecto a una fibra que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.
- 40
10. Fibra según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 7,5 mm, reducidas en, al menos, el 20% con respecto a una fibra que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.
- 45
11. Fibra según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene pérdidas por curvatura a una longitud de onda de 850 nm para dos vueltas alrededor de un radio de curvatura de 5 mm, reducidas en, al menos, el 20% con respecto a una fibra que tiene el mismo perfil de índice pero sin la zanja deprimida.
- 50

Figura 1

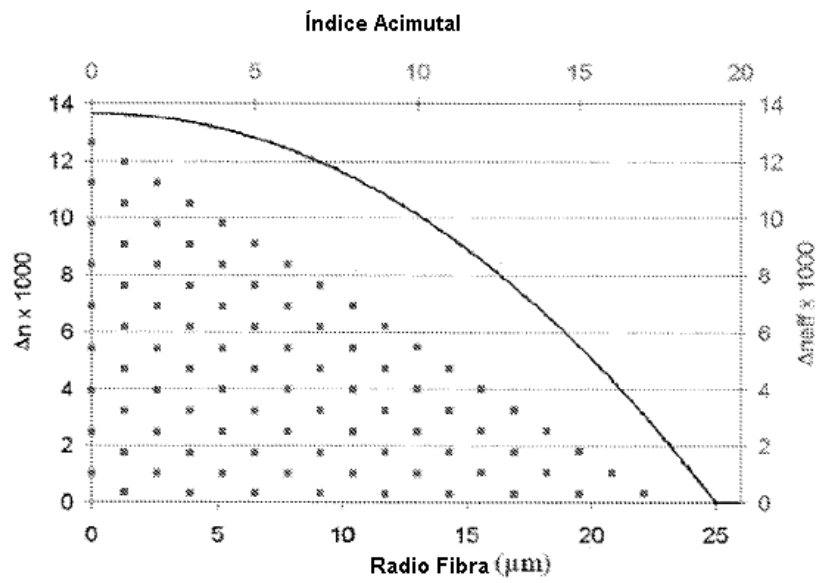


Figura 2

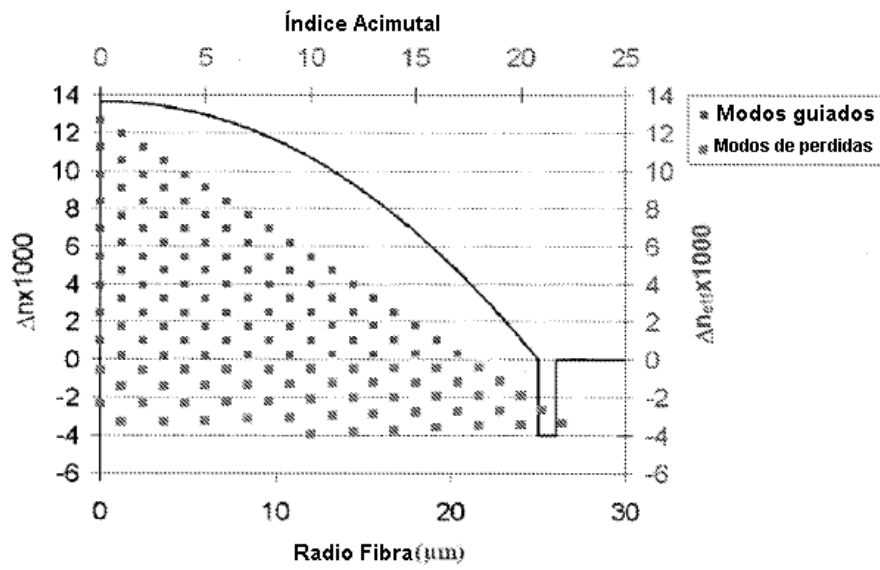


Figura 3

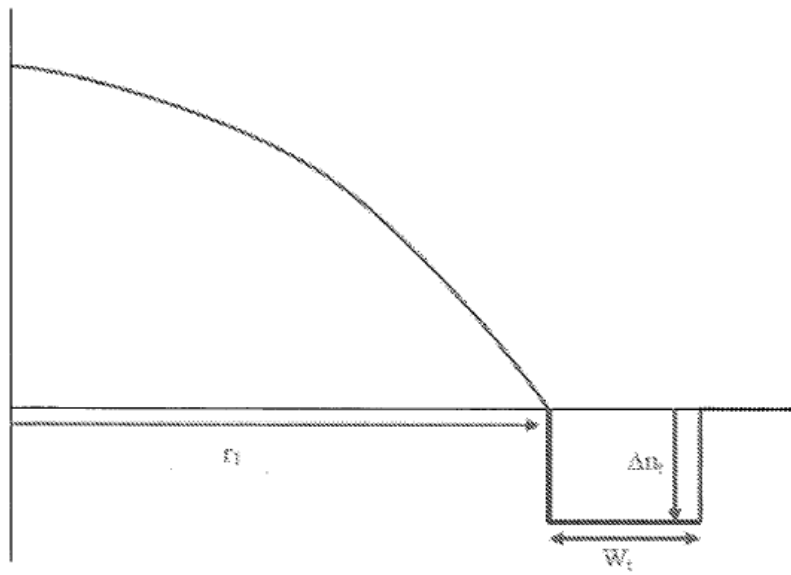


Figura 4

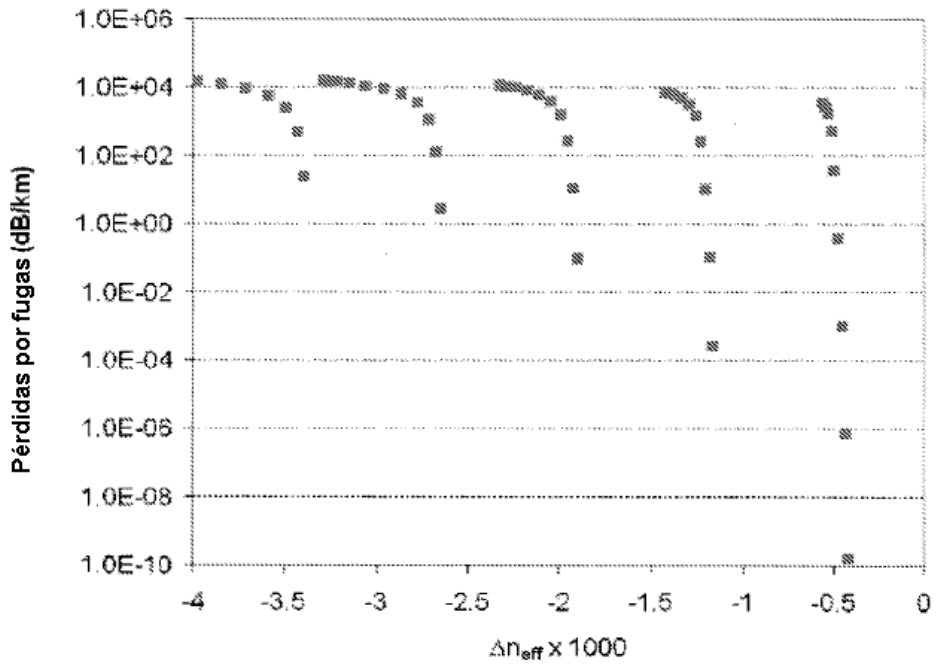


Figura 5

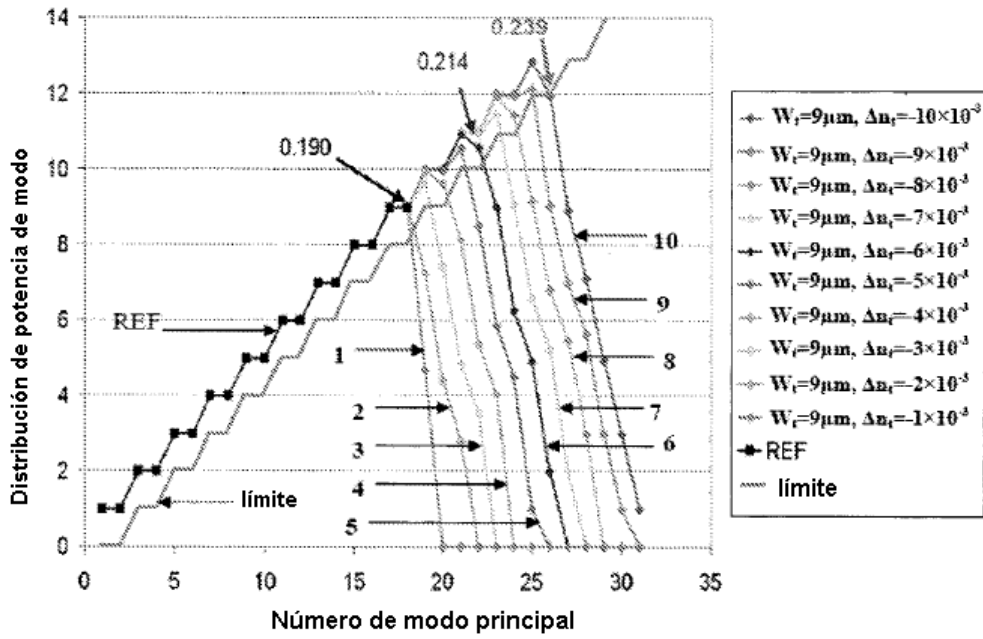


Figura 6

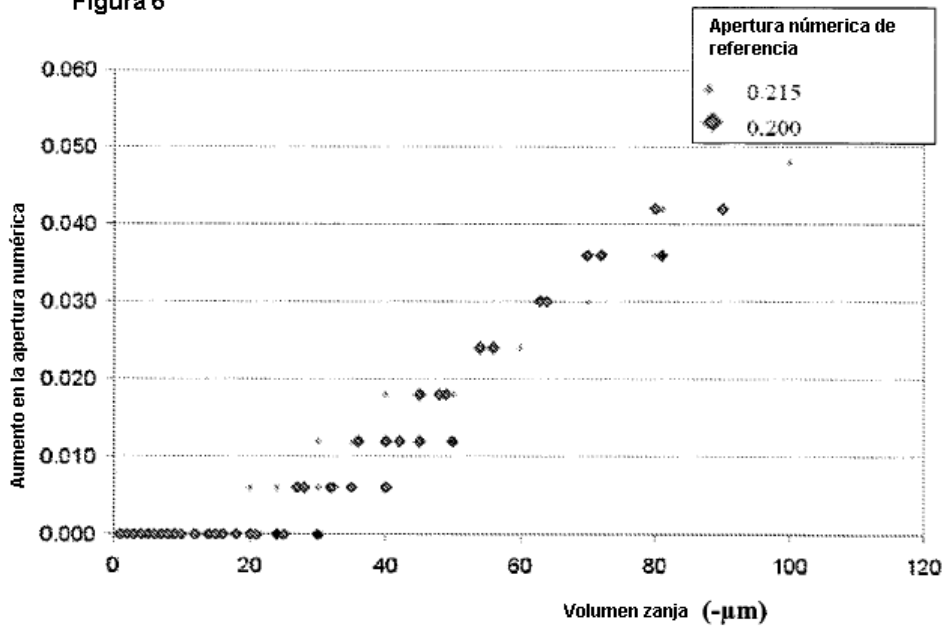


Figura 7

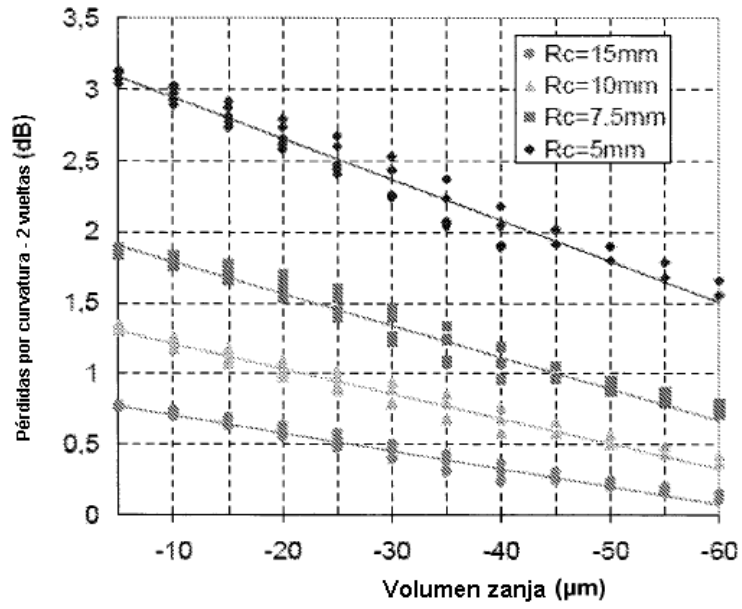
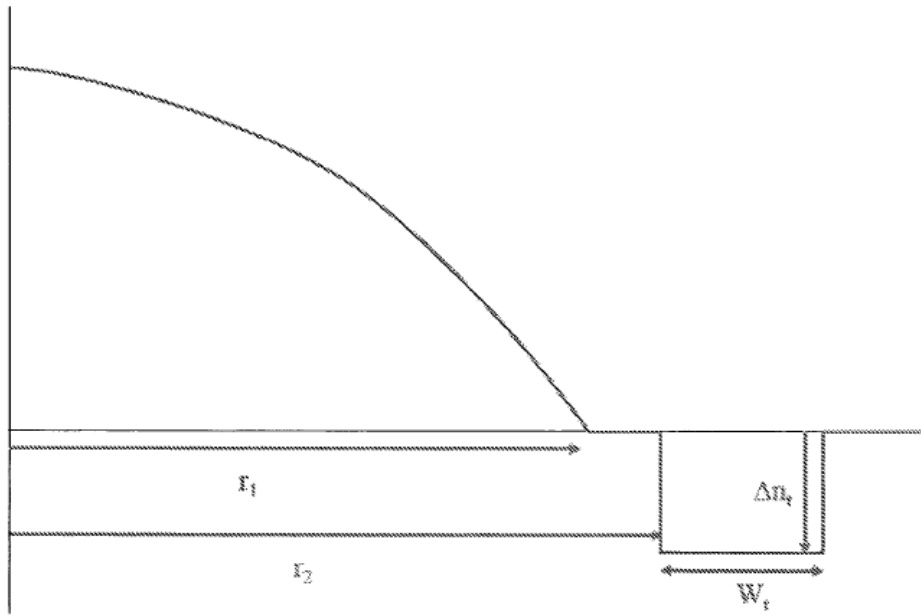


Figura 8



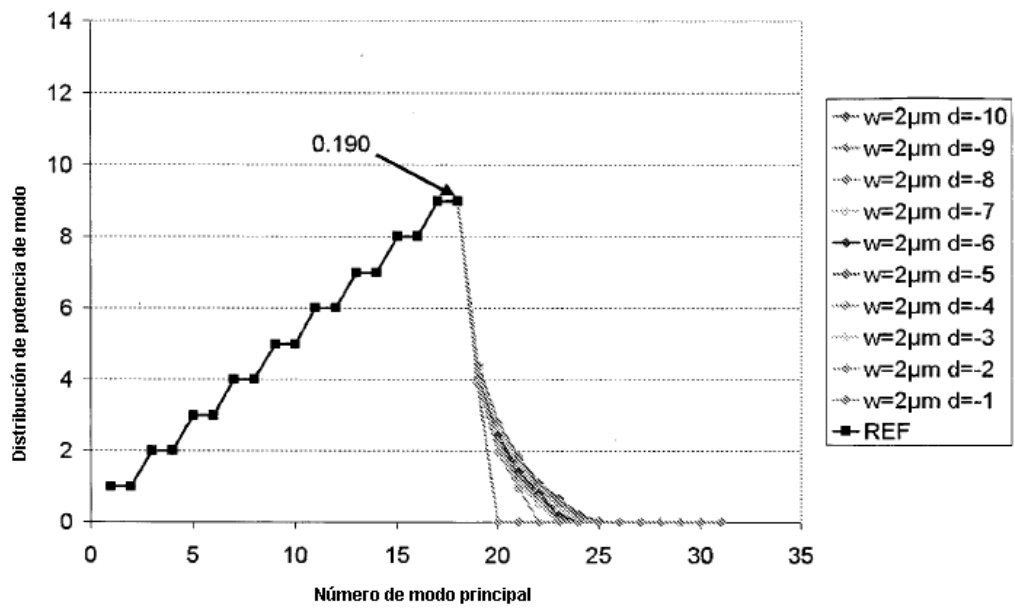


Figura 9

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 20080166094 A [0013]
- WO 2008085851 A [0013]
- WO 2006010798 A [0014] [0053]
- WO 2009078962 A [0015]
- WO 2010138653 A [0016]
- US 5522007 A [0060]
- US 5194714 A [0060]
- US 6269663 B [0060]
- US 6202447 B [0060]

10 Bibliografía no de patentes citada en la descripción

- **D. GLOGE et al.** Multimode theory of graded-core fibres. *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]