

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 492 467**

51 Int. Cl.:

G02B 6/036 (2006.01)

G02B 6/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2008 E 08005802 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.05.2014 EP 1978383**

54 Título: **Fibra óptica de transmisión con área efectiva amplia**

30 Prioridad:

06.04.2007 FR 0702545

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

09.09.2014

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)
DE BOELELAAN 7
1083 HJ AMSTERDAM, NL**

72 Inventor/es:

**DE MONTMORILLON, LOUIS-ANNE;
SILLARD, PIERRE;
MOLIN, DENIS;
BIGOT-ASTRUC, MARIANNE y
RICHARD, SIMON**

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 492 467 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 transmisión con área efectiva amplia.

[0001] La presente invención se refiere al campo de la transmisión por fibra óptica, y más específicamente a una línea de fibra que tiene un área efectiva ampliada sin aumentar las pérdidas por curvatura y microcurvatura

5 [0002] Para las fibras ópticas, el perfil de índice de refracción se clasifica generalmente en función de la representación gráfica de la función que relaciona el índice de refracción con el radio de la fibra óptica. Convencionalmente la distancia r al centro de la fibra óptica se muestra en el eje de abscisas, y la diferencia entre el índice de refracción para un radio r y el índice de refracción del revestimiento óptico exterior de la fibra óptica, se muestra en el eje de ordenadas. El revestimiento óptico exterior tiene un índice de refracción constante y por lo general está constituido por sílice pura. No obstante, el revestimiento óptico exterior también puede contener uno o más dopantes. El perfil del índice de refracción se refiere como en "escalón", "trapezoidal" o "triangular" para referirse a los gráficos que tienen respectivas formas de escalón, trapecio o triángulo. Estas curvas son generalmente ejemplos del perfil teórico o de referencia de la fibra óptica, las tensiones de fabricación de la fibra óptica pueden dar lugar a un perfil ligeramente diferente.

15 [0003] Una fibra óptica convencional consta de un núcleo óptico central, que tiene la función de transmitir y, posiblemente, amplificar una señal óptica, y de un revestimiento óptico externo que tiene la función de confinar la señal óptica dentro del núcleo central. Para este propósito, los índices de refracción del núcleo central n_c y del revestimiento óptico exterior n_g son tales que $n_c > n_g$. Como es sabido, la propagación de una señal óptica a través de una fibra monomodo, se descompone en un modo fundamental, guiado dentro del núcleo central y en modos secundarios, guiados a cierta distancia de la junta entre el núcleo central y el revestimiento, llamados modos de revestimiento.

20 [0004] De manera convencional, las fibras de índice de salto, también llamadas fibras de modo único o SMF, se utilizan como fibras para líneas de transmisión de sistemas con fibras ópticas. Estas fibras ópticas, presentan una dispersión cromática y una pendiente de dispersión cromática, que cumplen con estándares específicos de telecomunicaciones, así como con valores normalizados para el área efectiva y la longitud de onda de corte. Normalmente, para los sistemas de transmisión terrestre, se utilizan fibras de modo único estándar (SSMF), las cuales tienen una dispersión positiva (D) y una pendiente de dispersión positiva (P), un área efectiva (S_{eff}) de alrededor de $80 \mu\text{m}^2$ y una atenuación (Att) de aproximadamente $0,19 \text{ dB/km}$ (medida para una longitud de onda de 1550 nm). Los sistemas de transmisión submarinos, con repetidores, normalmente utilizan líneas de transmisión híbridas con fibras ópticas que tienen una dispersión positiva, una amplia área efectiva (unos 100 a $110 \mu\text{m}^2$) y baja atenuación ($0,17$ a $0,19 \text{ dB/km}$ medida para una longitud de onda de 1550 nm) y fibras ópticas con dispersión negativa. Los sistemas de transmisión submarinos, sin repetidores, usan normalmente líneas de transmisión que comprenden combinaciones de fibras ópticas de dispersión positiva y área efectiva de entre 80 y $110 \mu\text{m}^2$.

25 [0005] Como se conoce per se, un aumento del área efectiva de una fibra óptica de transmisión contribuye a la reducción de efectos no lineales en la fibra óptica. Una fibra óptica de transmisión que tiene un área efectiva ampliada permite la transmisión a lo largo de una distancia mayor y/o aumentar las bandas funcionales del sistema de transmisión. Con el fin de aumentar el área efectiva de una fibra óptica de transmisión, se propusieron perfiles de fibra óptica con un núcleo central ampliado y aplanado en comparación con una SSMF. Sin embargo, tal cambio en la forma del núcleo central de la fibra óptica, provoca un aumento de las pérdidas por curvatura y microcurvatura y aumenta la longitud de onda de corte efectiva de la de fibra óptica. La longitud de onda de corte efectiva, es convencionalmente medida como la longitud de onda para la cual la señal óptica es de modo único tras su propagación a lo largo de dos metros de fibra óptica, según define el subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional bajo la norma IEC 60793-1-44.

30 [0006] El documento US A-6.658.190 describe una fibra óptica de transmisión con un área efectiva ampliada mayor de $110 \mu\text{m}^2$. Esta fibra óptica tiene núcleo central muy ancho ($11,5$ a $23,0 \mu\text{m}$), siendo $1,5$ a 2 veces mayor que la de una SSMF, y una configuración con un revestimiento continuo o ligeramente deprimido. Para compensar el aumento de las pérdidas por curvatura, causadas por un aumento del área efectiva, este documento propone aumentar el diámetro de la fibra óptica (ver. fig. 29 de la US-A-6.658.190). Sin embargo, tal aumento en el diámetro de la fibra óptica implica costo y, además, provoca problemas de cableado por incompatibilidad con las restantes fibras ópticas. Este documento señala, además, que la longitud de onda de corte disminuye con la longitud de la fibra óptica considerada (ver fig. 5 de US-A-6.658.190) y, en particular que la fibra óptica, alcanza el carácter monomodo a partir de 1 km de transmisión. Tal medición de la longitud de onda de corte, sin embargo no cumple con las mediciones normalizadas mencionadas anteriormente.

35 [0007] La publicación de Masao Tsukitani et al "Ultra Low Nonlinearity Pure-Silica-Core Fiber with an Effective Area of $211 \mu\text{m}^2$ and Transmission Loss of 0.159 dB/km ", M3.3.2, CEC 2002, 9 de septiembre 2002, describe una fibra óptica con una configuración de perfil de índice de refracción que tiene un revestimiento ligeramente deprimido y ancho, adyacente al núcleo central. Tal fibra óptica tiene un área eficaz de $211 \mu\text{m}^2$ con una baja atenuación, pero con el fin de limitar las pérdidas por curvatura, el diámetro de la fibra óptica se aumentó hasta $170 \mu\text{m}$ (en

comparación con 125 μm para una SSMF), todo esto conduce a costes de fabricación significativos y problemas de incompatibilidad con las restantes fibras ópticas.

[0008] Las configuraciones de fibra óptica para aumentar el área efectiva se propusieron en la publicación de Kazumasa Ohsono et al "The Study of Ultra Large Effective Area Fiber & Mating Dispersion Slope Compensating Fiber for Dispersion Flattened Hybrid Optical Fiber DWDM Link", IWCS 2002, 18 de noviembre 2002, páginas 483 a 487, y en la publicación de Kazuhiko Aikawa et al. "Single-Mode Optical Fiber with Effective Core Area larger than 160 μm^2 ", ECOC 1999, 26 de Septiembre de 1999, página I-302.

[0009] Por otra parte, el documento US-A-6.665.482 propone un perfil de índice de refracción de fibra óptica de pedestal para lograr un área efectiva de más de 90 μm^2 , pero los valores del área efectiva de los ejemplos proporcionados permanecen inferiores a 110 μm^2 . El documento US-A-5.781.684 describe una fibra óptica coaxial que tiene un área efectiva amplia para una fibra de dispersión desplazada, también llamada fibra de dispersión desplazada no nula (NZDSF). Esta fibra óptica tiene una longitud de onda de corte, la cual es demasiado alta para mantenimiento de modo único en la banda C+ (1530nm a 1570 nm) y un diámetro de campo modal que es demasiado pequeño (<11 μm a 1550 nm).

[0010] El documento US-A-2005/0244120 describe una fibra óptica con un área efectiva amplia (> 75 μm^2) y una baja atenuación (<0,20 dB/km a 1550 nm). La fibra óptica descrita en este documento tiene un perfil de índice de refracción con un núcleo central, un revestimiento intermedio y un revestimiento deprimido. El revestimiento deprimido, sin embargo, no está lo suficientemente enterrado (-0,1%) o ensanchado (7-7,4 μm) para el logro de las características ópticas deseadas por la presente invención, en particular, la combinación de un área efectiva amplia y una longitud de onda de corte efectiva baja.

[0011] Además, el documento US-A-6.483.975 describe una fibra óptica con un área efectiva amplia (> 100,00 μm^2) y una dispersión positiva (> 20 ps/(nm-km)). En este documento se describen varios perfiles de índice de refracción de fibra óptica y en particular un perfil con un núcleo central, un revestimiento intermedio y un revestimiento deprimido (ver fig. 5a y 5b de US-6.483.975). El revestimiento deprimido es, sin embargo, demasiado ancho (anchura r_3-r_2 de 15 a 19 μm) y próximo al núcleo central (anchura de revestimiento intermedio r_2-r_1 de 2-4 μm) para lograr las características ópticas deseadas por la presente invención.

[0012] El documento US-A-4.852.968 describe una fibra óptica con un perfil de índice de refracción con un revestimiento deprimido. Este documento pretende mejorar algunos parámetros ópticos de la fibra óptica con la presencia de un revestimiento deprimido, y en particular los parámetros de dispersión, confinamiento y de pérdidas por curvatura. Este documento no menciona el impacto en la longitud de onda de corte efectiva o en el área efectiva. Sólo se menciona un diámetro de campo modal de 9,38 μm , que conduciría a un área efectiva de menos de 80 μm^2 .

[0013] El documento EP-A-1477831 describe una fibra óptica con un área efectiva amplia (> 80 μm^2) y una longitud de onda de corte limitada a 1310 nm. En este documento se describen varios perfiles de fibra óptica y en particular un perfil de índice de refracción con un núcleo central, un revestimiento intermedio y un revestimiento deprimido (ver fig. 8 del documento EP-A-1477831). El revestimiento deprimido es, sin embargo demasiado ancho (- 15 μm) para lograr las características ópticas deseadas por la presente invención y el diámetro exterior del revestimiento deprimido es muy amplio (~ 33 μm), lo que implica costes de fabricación significativos.

[0014] Por lo tanto, existe la necesidad de una fibra óptica de transmisión que tenga un área efectiva ampliada, que sea mayor de 120 μm^2 , sin la degradación de los restantes parámetros ópticos de la fibra óptica frente a una SSMF, especialmente en términos de pérdidas y dispersión, y con una longitud de onda de corte efectiva de menos de 1.600 nm.

[0015] Con este propósito, la invención propone un perfil de fibra óptica que comprende un núcleo central, un revestimiento intermedio y un revestimiento deprimido. El núcleo central está ampliado y aplanado en comparación con una SSMF con el fin de ampliar el área efectiva. El revestimiento deprimido está suficientemente alejado del núcleo central mediante el revestimiento intermedio con el fin de evitar perturbaciones en el modo fundamental que sean demasiado fuertes, pero el revestimiento deprimido está suficientemente enterrado y estrechado con el fin de limitar las pérdidas por curvatura y microcurvatura y controlar especialmente la longitud de onda de corte. La propagación de modos de fuga está también limitada, o incluso evitada. Así, la fibra óptica de acuerdo a la invención tiene un área efectiva ampliada de más de 120 μm^2 a 1550 nm con una longitud de onda de corte, garantizando el carácter de modo único de la fibra óptica en la banda C y pérdidas por curvatura o microcurvatura equivalentes a las de una SSMF.

[0016] Más particularmente, la invención propone una fibra óptica de transmisión que comprende:

- Un núcleo central que tiene un radio igual o mayor de 5,5 μm y una diferencia de índice de refracción de entre $3,0 \cdot 10^{-3}$ y $5,0 \cdot 10^{-3}$ con el revestimiento óptico exterior;

- Un revestimiento intermedio que tiene un radio y una diferencia de índice de refracción de entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ y $1,0 \cdot 10^{-3}$ con el revestimiento exterior, siendo la anchura del revestimiento intermedio mayor de 5 μm ;

- Un revestimiento deprimido que tiene un radio de 11,5 μm y 16 μm y una diferencia de índice de refracción de entre $-15,0 \cdot 10^{-3}$ y $-3,5 \cdot 10^{-3}$ con el revestimiento exterior, siendo la anchura del revestimiento deprimido menor de 5 μm ;
- La fibra óptica tiene un área efectiva a 1550 nm igual o mayor de 120 μm^2 y una longitud de onda de corte eficaz de menos de 1600 nm.

5 **[0017]** De acuerdo con las realizaciones, la fibra óptica de acuerdo con la invención puede además incluir una o más de las siguientes características:

- Un diámetro de campo modal de más de 11,5 μm ;
- La dispersión cromática es igual o menor de 5,21 ps/nm-km a una longitud de onda de 1550 nm;
- Una pendiente de dispersión cromática igual a o inferior a 0,065 ps/nm²-km, a una longitud de onda de 1550 nm;

10 - Una atenuación igual o menor de 0,19 dB/km a una longitud de onda de 1550 nm;

- Pérdidas por curvatura iguales o inferiores a 20 dB/m para un radio de curvatura de 10 μm a una longitud de onda de 1625 nm;

- Pérdidas por microcurvatura a una longitud de onda de 1550 nm, esencialmente iguales a las pérdidas por microcurvatura de una fibra modo único estándar (SSMF) sujeta a idénticas tensiones.

15 **[0018]** Otras características y ventajas de la invención resultarán evidentes después de la lectura de la descripción que sigue de realizaciones de la invención, dadas a modo de ejemplo y con referencia a la única figura adjunta, la cual muestra una ilustración gráfica del perfil establecido de una fibra de índice de salto de acuerdo con una realización de la invención. Las formas de realización adicionales se muestran en las reivindicaciones.

20 **[0019]** La fibra óptica de la invención se describirá con referencia a la figura. 1 que ilustra un perfil establecido, es decir, ilustrativo del perfil teórico de la fibra óptica, la fibra óptica obtenida después del proceso de estirado partiendo de la preforma puede tener un perfil ligeramente diferente.

25 **[0020]** La fibra óptica de transmisión de acuerdo con la invención comprende un núcleo central, que tiene una diferencia de índice de refracción Δn_1 con el revestimiento exterior que actúa como un revestimiento óptico, un revestimiento intermedio (interno) con una diferencia de índice de refracción Δn_2 con el revestimiento exterior y un revestimiento deprimido o enterrado (interno) con una diferencia de índice de refracción Δn_3 con el revestimiento exterior. Los índices de refracción del núcleo central, el revestimiento intermedio y el revestimiento deprimido son esencialmente constantes en la totalidad de sus anchuras. La anchura del núcleo central se define por su radio r_1 y la anchura de los revestimientos por sus respectivos radios exteriores, r_2 y r_3 . La anchura del revestimiento intermedio se define por r_2 menos r_1 y la anchura del revestimiento deprimido, se define por r_2 menos r_3 .
30 Generalmente, el núcleo central, el revestimiento intermedio y el revestimiento deprimido son obtenidos por deposición CVD (Deposición Química en fase de Vapor) en un tubo de sílice y el revestimiento exterior está formado por sobrevestimiento del tubo de sílice con sílice natural o sintética que puede estar dopada o sin dopar. Sin embargo, el revestimiento óptico exterior también se puede obtener por cualquier otra técnica de deposición (VAD: Deposición Axial en fase de Vapor o OVD Deposición Externa en fase de vapor).

35 **[0021]** La fibra óptica según la presente invención que comprende un núcleo central con un radio r_1 igual o mayor de 5,5 μm y una diferencia de índice de refracción Δn_1 igual o inferior a $5 \cdot 10^{-3}$ en relación al revestimiento óptico exterior (de sílice por ejemplo). Por consiguiente, el núcleo central de la fibra óptica de acuerdo con la presente invención se ensancha y aplana en comparación con el núcleo central de una SSMF con un radio r_1 de 4,35 μm y una diferencia de índice de refracción Δn_1 de 5,2. El diámetro de campo modal, de esta manera, puede ser ampliado
40 - a más de 11,5 μm - y el área efectiva de la fibra óptica se puede aumentar - a más de 120 μm^2 . La fibra óptica de acuerdo con la invención también comprende un revestimiento intermedio que tiene un radio r_2 y una diferencia de índice de refracción Δn_2 con el revestimiento exterior y un revestimiento deprimido que tiene un radio r_3 y una diferencia de índice de refracción Δn_3 con el revestimiento exterior. El revestimiento deprimido de la fibra óptica de acuerdo con la invención es controlado cuidadosamente. El revestimiento deprimido está suficientemente alejado del núcleo central (por la anchura del revestimiento intermedio), de manera que no perturba excesivamente la propagación del modo fundamental y no afecta a las características de propagación de la señal óptica. Además, el revestimiento deprimido es suficientemente profundo y estrecho para garantizar una reducción de las pérdidas por curvatura y microcurvatura y controlar directamente las pérdidas de los modos de orden superior (LP11) y por lo tanto la longitud de onda de corte resultante de esto. El comportamiento del modo de fuga está también limitado, o incluso eliminados. Una anchura del revestimiento intermedio ($r_2 - r_1$) de más de 5 μm tiene garantiza una distancia suficiente del revestimiento deprimido al núcleo central a fin de no perturbar el modo fundamental en el núcleo central. Con una profundidad del revestimiento deprimido igual a o mayor de $-3,5 \cdot 10^{-3}$ y una anchura del revestimiento deprimido ($r_3 - r_2$) menor que 5 μm , las pérdidas por curvatura y microcurvatura puede ser limitadas de manera eficiente, mientras se controla la longitud de onda de corte, es decir, mientras se limita la distancia de
55 propagación de los modos de orden superior en la fibra óptica. Mediante el control de la anchura y la profundidad del

revestimiento deprimido de la fibra óptica de acuerdo con la invención, es posible, limitar la longitud de onda de corte efectiva de la presente fibra óptica a 1600 nm, mientras que el área efectiva fue considerablemente ampliada en comparación con una SSMF para pérdidas equivalentes.

5 [0022] La tabla I siguiente proporciona seis ejemplos de perfiles de índice de refracción posibles para una fibra óptica de transmisión de acuerdo a la invención (ejemplos 1, 2, 3, 4, 5 y 6) y dos ejemplos que quedan fuera del alcance de la invención (ejemplos 1b y 1c) en comparación con una fibra SSMF estándar. Además, los valores de acuerdo con la presente invención se citan en la reivindicación 1, así como en las realizaciones preferentes a la presente invención. La primera columna asigna una referencia a cada perfil. Las columnas siguientes muestran los valores de los radios de cada sección (r_1 a r_3) así como sus diferencias ($r_2 - r_1$) y ($r_3 - r_2$); y las siguientes columnas muestran los valores de las diferencias de índice de refracción de cada sección con el revestimiento exterior (Δn_1 a Δn_3). Los valores del índice de refracción están medidos a una longitud de onda de 633 nm. Las fibras ópticas de los ejemplos de la tabla I tienen un diámetro exterior de 125 μm . Los valores de la tabla I corresponden a los perfiles establecidos de las fibras ópticas.

10

15

TABLA I

Perfil	r_1 (μm)	r_2 (μm)	$r_2 - r_1$ (μm)	r_3 (μm)	$r_3 - r_2$ (μm)	Δn_1 (10^{-3})	Δn_2 (10^{-3})	Δn_3 (10^{-3})
Invención	$\geq 5,5$		> 5		< 5	$\leq 5,0$		$\leq -3,5$
Preferida	5,5 a 7,5	10,5 a 14,0	5 a 8	11,5 a 16,0	1 a 5	3,0 a 5,0	-1,0 a 1,0	-15,0 a -3,5
SSMF	4,35	-	-	-	-	5,2	-	-
1	6,04	11,27	5,23	16,0	4,73	4,3	0,0	-4,7

(continuación)

Perfil	r_1 (μm)	r_2 (μm)	r_2-r_1 (μm)	r_3 (μm)	r_3-r_2 (μm)	Δn_1 (10^{-3})	Δn_2 (10^{-3})	Δn_3 (10^{-3})
1b*	6,04	11,27	5,23	16,0	4,73	4,3	0,0	0,0
1c*	6,04	8,00	1,96	12,73	4,73	4,3	0,0	-4,7
2	5,84	10,95	5,11	15,6	4,65	4,0	0,3	-6,0
3	6,31	11,83	5,51	14,3	2,47	4,1	-0,3	-4,0
4	6,31	12,52	6,21	15,0	2,48	4,2	-0,3	-4,8
5	6,34	11,77	5,43	15,5	3,73	3,9	0,3	-5,0
6	6,50	13,33	6,83	16,0	2,67	4,0	-0,3	-6,0
*No conformes a la invención								

5 **[0023]** La fibra óptica de transmisión de acuerdo con la invención se ilustra de una manera no limitativa mediante los seis ejemplos de la tabla anterior. Además, son citados tanto los valores de acuerdo a la presente invención, según la reivindicación 1, como las realizaciones preferentes de la presente invención. En particular, se indica que la fibra óptica de acuerdo con la invención, tiene un núcleo central ensanchado con respecto a una SSMF y una diferencia de índice de refracción menor en comparación con una SSMF, es decir, un núcleo central que tiene un radio r_1 igual o mayor de $5,5 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción Δn_1 igual o menor que $5,0 \cdot 10^{-3}$, respecto del revestimiento óptico exterior. Se señala también que la fibra óptica de acuerdo con la invención tiene un revestimiento (r_3 , Δn_3) separado del núcleo central por un revestimiento intermedio (r_2 , Δn_2) que tiene una anchura de, al menos, $5 \mu\text{m}$ y donde el revestimiento deprimido es estrecho, siendo menor de $5 \mu\text{m}$, y profundamente enterrado, al menos, $-3,5 \cdot 10^{-3}$, en relación al revestimiento exterior. El revestimiento intermedio puede ser de sílice, es decir, teniendo el mismo índice de refracción que el revestimiento exterior, o de sílice ligeramente dopada; siendo Δn_2 , especialmente de entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ y $1,0 \cdot 10^{-3}$.

10
15
20 **[0024]** La fibra óptica de acuerdo con la invención tiene un perfil como se describió anteriormente y con las siguientes características preferentes: el núcleo central (r_1 , Δn_1) tiene un radio r_1 de entre $5,5 \mu\text{m}$ y $7,5 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción Δn_1 con el revestimiento exterior de entre $3,0 \cdot 10^{-3}$ y $5,0 \cdot 10^{-3}$; el revestimiento intermedio (r_2 , Δn_2) tiene un radio r_2 de entre $10,5 \mu\text{m}$ y $14,0 \mu\text{m}$ para una anchura (r_2-r_1) de entre $5 \mu\text{m}$ y $8 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción Δn_2 con el revestimiento exterior de entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ y $1,0 \cdot 10^{-3}$; el revestimiento deprimido (r_3 , Δn_3) tiene un radio r_3 de entre $11,5 \mu\text{m}$ y $16,0 \mu\text{m}$ para una anchura (r_3-r_2) de entre $1 \mu\text{m}$ y $5 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción Δn_3 con el revestimiento exterior de entre $-15,0 \cdot 10^{-3}$ y $-3,5 \cdot 10^{-3}$.

[0025] Debe también señalarse que el revestimiento deprimido tiene un radio exterior r_3 limitado a 16 μm . Con este pequeño valor del radio del revestimiento deprimido, es factible limitar los costes de fabricación de una preforma, la cual podría estar asociada a la deposición de una sección de sílice dopada que es demasiado grande.

5 **[0026]** La fibra óptica de transmisión de acuerdo con la invención, tiene un perfil de índice de refracción, como se describió anteriormente, un área efectiva ampliada con una longitud de onda de corte efectiva limitada y pérdidas por curvatura y microcurvatura equivalentes a las de una SSMF en las longitudes de onda útiles, por ejemplo, a 1550 nm. La fibra óptica de acuerdo con la invención también tiene una atenuación equivalente o menor que una SSMF, con una dispersión y pendiente de dispersión controladas, más fuertes que una SSMF.

10 **[0027]** La siguiente tabla II, ilustra las características ópticas simuladas para las fibras ópticas de transmisión correspondientes a los perfiles de índice de refracción de la tabla I. En la tabla II, la primera columna repite las referencias de la tabla I. Las siguientes columnas proporcionan, para cada perfil de fibra óptica, los valores de la longitud de onda de corte efectiva (λ_{Ceff} , medida a lo largo de dos metros de fibra óptica de acuerdo con las normas actuales), el área efectiva (S_{eff} a la longitud de onda de 1550 nm), los diámetros de campo modal ($2W_{02}$ a la longitud de onda de 1550 nm), la dispersión cromática (D, a la longitud de onda de 1550 nm), y la pendiente de dispersión (P, a la longitud de onda de 1550 nm). Las siguientes columnas proporcionan, por cada perfil de fibra óptica, los valores de la atenuación (A_{tt} , a la longitud de onda de 1550 nm), las pérdidas por curvatura (PPC, sobre un radio de 10 mm a la longitud de onda de 1625 nm), y las pérdidas por microcurvatura ($S_{\mu\text{C}}$ a la longitud de onda de 1550 nm). Los valores para las pérdidas por microcurvatura ($S_{\mu\text{C}}$), son valores relativos y expresados en relación a las pérdidas en una SSMF que estaría sujeta a las mismas tensiones, es decir, para una fibra óptica de 125 μm de diámetro. Las pérdidas por microcurvatura pueden ser medidas, por ejemplo, por llamado método del tambor de diámetro fijo. Este método se describe en la recomendación técnica de la Comisión Internacional Electrotécnica del subcomité 86A bajo la referencia IEC TR-62221 y no se describirá aquí en más detalle.

15

20

TABLA II

Perfil	λ_{ceff} (μm)	$S_{\text{eff}}@1550\text{nm}$ (μm^2)	2W02 @ 1550 nm (μm)	D@1550nm (ps/nm-km)	P@1550nm (ps/nm ² -km)	Att@1550nm (dB/km)	PPC(10mm)@1625nm (dB/m)	$S_{\text{sc}}@1550\text{nm}$ (dB)
Invencción	< 1,600	≥ 120						
Preferida	≥ 1350		> 11,5	$\leq 21,5$ ≥ 16	$\leq 0,065$ $\geq 0,050$	$\leq 0,19$	≤ 20	-1
SSMF	<1,300	80	10,3	16,8	0,058	-0,19	-50	1
1	<1,550	120	12,1	20,5	0,063	<0,19	<10	-1
1b*	<1,560	120	12,3	19,5	0,061	-0,19	>20	>1
1c*	<1,500	110	11,1	22,0	0,063	>0,19	<10	-1
2	<1,500	120	12,2	20,5	0,064	<0,19	<10	-1
3	<1,500	125	12,3	20,5	0,063	<0,19	<20	-1
4	<1,550	125	12,2	20,5	0,063	<0,19	<10	-1
5	<1,550	135	12,9	20,5	0,064	<0,19	<20	-1
6	<1,550	130	12,5	20,5	0,063	<0,19	<10	-1

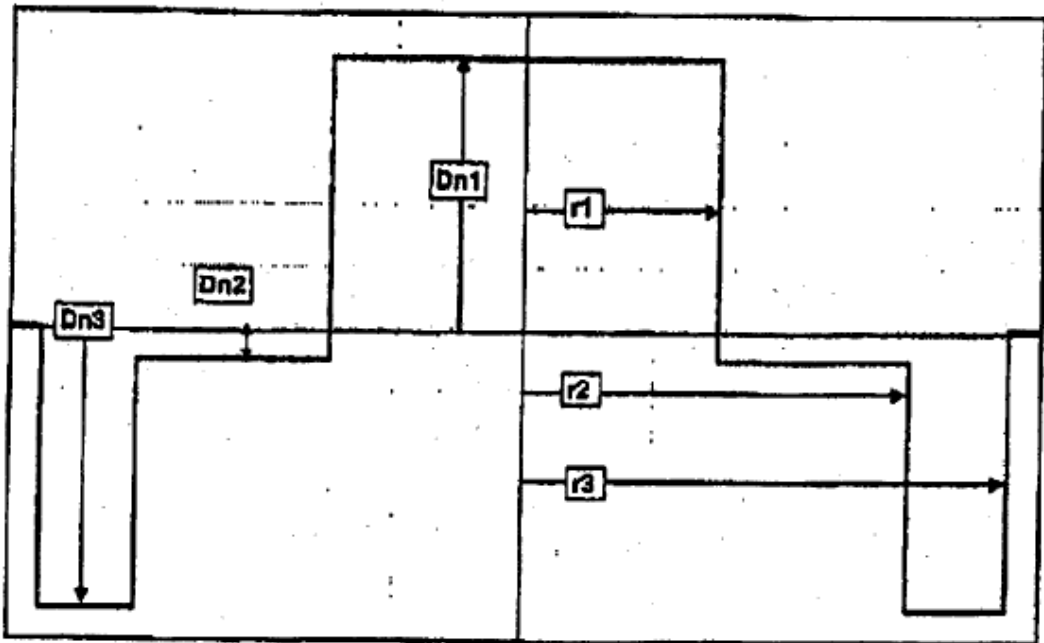
*No conformes a la invención

- 5 **[0028]** Como se aprecia en la tabla II, realmente, el área efectiva para la fibra óptica fue aumentada de acuerdo con la invención en comparación con una SSMF con una superficie efectiva igual o superior a $120 \mu\text{m}^2$. Un área efectiva que alcanza $240 \mu\text{m}^2$ puede lograrse con un perfil de fibra óptica como el definido anteriormente, con un diámetro de campo modal de entre $11,5 \mu\text{m}$ y $17 \mu\text{m}$. Este aumento del área efectiva provoca inevitablemente un aumento en la longitud de onda de corte efectiva, la cual sin embargo, sigue limitada a 1600 nm ; la fibra óptica de acuerdo con la invención, por lo tanto, conserva el carácter de modo único en la banda C. En particular, la fibra óptica de acuerdo con la invención con el perfil definido anteriormente, puede tener una longitud de onda de corte efectiva de entre 1350 nm y 1600 nm .
- 10 **[0029]** Como también se aprecia en la tabla II las pérdidas por curvatura y microcurvatura de la fibra óptica de acuerdo con la invención son equivalentes o incluso mejores, que las pérdidas por curvatura y microcurvatura de una SSMF. Además, la fibra óptica de acuerdo con la invención, tiene atenuación equivalente o incluso mejor en comparación con una SSMF, es decir, la atenuación es igual a o menor de $0,19 \text{ dB/km}$ a la longitud de onda de 1550 nm .
- 15 **[0030]** Además, los valores de dispersión y de pendiente de dispersión de la fibra óptica de acuerdo con la invención podrían ser limitadas a $21,5 \text{ ps/nm-km}$ y $0,065 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$ a la longitud de onda de 1550 nm ; particularmente, una dispersión cromática de entre 16 ps/nm-km y $21,5 \text{ ps/nm-km}$ y una pendiente de dispersión de entre $0,050 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$ y $0,065 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$, pueden ser obtenidas con una fibra óptica que tiene el perfil descrito anteriormente. Esta limitación de la dispersión cromática es importante para limitar la longitud de fibras de compensación de dispersión que introducen una atenuación adicional en el sistema de transmisión.
- 20 **[0031]** Los ejemplos 1b y 1c caen fuera del alcance de la invención. El ejemplo 1b tiene el mismo núcleo central que en el ejemplo 1 pero no tiene revestimiento deprimido. El revestimiento interno corresponde al índice de refracción del revestimiento exterior, es decir, de sílice pura. Este es un perfil, tal como se describió en la antes mencionada patente US-A-6.658.190, con una configuración de revestimiento constante. La ausencia de un revestimiento deprimido provoca un aumento en la longitud de onda de corte efectiva más allá de 1550 nm . Además, la ausencia en el ejemplo 1b de un revestimiento deprimido, provoca un aumento en las pérdidas por curvatura y microcurvatura.
- 25 **[0032]** El ejemplo 1c también tiene el mismo núcleo central que el ejemplo 1 y un revestimiento deprimido igual que en el ejemplo 1, pero el revestimiento deprimido está demasiado cercano al núcleo central. El revestimiento intermedio que separa el revestimiento deprimido del núcleo central es más estrecho de $5 \mu\text{m}$. El modo fundamental que se propaga en el núcleo central está entonces influenciado por el revestimiento deprimido que produce un área efectiva más pequeña ($<120 \mu\text{m}^2$) y un aumento de la dispersión cromática ($> 21,5 \text{ ps / nm-km}$).
- 30 **[0033]** La fibra óptica de transmisión de acuerdo con la presente invención es particularmente adecuada para los sistemas de transmisión de larga distancia en la banda C. Aumentando el área efectiva, sin ninguna degradación significativa de los restantes parámetros de la fibra óptica, es factible aumentar la potencia de las señales ópticas de transmisión sin aumentar los efectos no lineales; la relación señal-ruido de la línea de transmisión es así mejorada, lo cual es particularmente deseado en los sistemas de transmisión óptica de larga distancia terrestres o submarinos.
- 35 **[0034]** Además, la fibra óptica de acuerdo con la invención cumple con las recomendaciones de la ITU-T G.654.B que recomienda particularmente una longitud de onda de corte efectiva de entre 1350 nm y 1600 nm y/o una longitud de onda de corte de cable (λ_{cc}) menor de 1530 nm , un diámetro de campo modal de entre $9,5 \mu\text{m}$ y $13 \mu\text{m}$, una dispersión cromática menor de 22 ps/nm-km y una pendiente de dispersión de menos de $0,070 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$, y una atenuación de cable menor de $0,22 \text{ dB/km}$. Así, la fibra óptica de acuerdo con la invención se puede instalar en muchos sistemas de transmisión con buena compatibilidad con las restantes fibras ópticas del sistema.
- 40

REIVINDICACIONES

1. Fibra óptica de transmisión, que comprende desde el centro hasta la periferia:
- Un núcleo central que tiene un radio (r_1) igual o superior a $5,5 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción (Δn_1) con el revestimiento óptico exterior de entre $3,0 \cdot 10^{-3}$ y $5,0 \cdot 10^{-3}$;
- 5 - Un recubrimiento intermedio que tiene un radio (r_2) y una diferencia de índice de refracción (Δn_2) con el revestimiento óptico exterior de entre $-1,0 \cdot 10^{-3}$ y $1,0 \cdot 10^{-3}$, siendo la anchura del revestimiento intermedio ($r_2 - r_1$) mayor de $5 \mu\text{m}$;
- Un revestimiento deprimido que tiene un radio (r_3) de entre $11,5 \mu\text{m}$ y $16 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice de refracción (Δn_3) con el revestimiento óptico exterior de entre $-15,0 \cdot 10^{-3}$ y $-3,5 \cdot 10^{-3}$, siendo la anchura del revestimiento deprimido ($r_3 - r_2$) menor de $5 \mu\text{m}$;
- 10 teniendo la fibra óptica un área efectiva (S_{eff}) a 1550 nm , igual o mayor de $120 \mu\text{m}^2$ y una longitud de onda de corte efectiva (λ_{cort}) de menos de 1600 nm .
2. Fibra óptica de acuerdo con la reivindicación 7, en la que el radio (r_1) del núcleo central es de entre $5,5 \mu\text{m}$ y $7,5 \mu\text{m}$.
- 15 3. Fibra óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el radio (r_2) del revestimiento intermedio es de entre $10,5 \mu\text{m}$ y $14,0 \mu\text{m}$.
4. Fibra óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la anchura ($r_2 - r_1$) del revestimiento intermedio es igual o inferior a $8 \mu\text{m}$.
- 20 5. Fibra óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la anchura ($r_3 - r_2$) del recubrimiento deprimido es igual a o mayor de $1 \mu\text{m}$.
6. Fibra óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene un diámetro de campo modal ($2W_{02}$) de más de $11,5 \mu\text{m}$.
7. Fibra de óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene una dispersión cromática igual o menor de $21,5 \text{ ps/nm-km}$ a una longitud de onda de 1550 nm .
- 25 8. Fibra de óptica de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene una pendiente de dispersión cromática igual o inferior a $0,065 \text{ ps/nm-km}$ a una longitud de onda de 1550 nm .
9. Fibra óptica de acuerdo a las reivindicaciones anteriores, que tiene una atenuación igual o menor que $0,19 \text{ dB/km}$ a una longitud de onda de 1550 nm .
- 30 10. Fibra óptica de acuerdo a las reivindicaciones precedentes, que tiene unas pérdidas por curvatura iguales o menores que 20 dB/m para un radio de curvatura de 10 mm a una longitud de onda de 1625 nm .

Figura 1



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 6658190 A [0006] [0031]
- US 6665482 A [0009]
- US 5781684 A [0009]
- US 20050244120 A [0010]
- US 6483975 A [0011]
- US 4852968 A [0012]
- EP 1477831 A [0013]

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

- **MASAO TSUKITANI et al.** Ultra Low Nonlinearity Pure-Silica-Core Fiber with an Effective Area of 211 mm² and Transmission Loss of 0.159 dB/km. *M3.3.2*, *ECOC 2002*, 09 September 2002 [0007]
- **KAZUMASA OHSONO et al.** The Study of Ultra Large Effective Area Fiber & Mating Dispersion Slope Compensating Fiber for Dispersion Flattened Hybrid Optical Fiber DWDM Link. *IWCS 2002*, 18 November 2002, 483-487 [0008]
- **KAZUHIKO AIKAWA et al.** Single-Mode Optical Fiber with Effective Core Area larger than 160 mm². *ECOC 1999*, 26 September 1999, I-302 [0008]