

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 096**

51 Int. Cl.:

G02B 6/02 (2006.01)

G02B 6/036 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2010 E 10075028 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 2211212**

54 Título: **Fibra óptica de modo único con un área efectiva ampliada**

30 Prioridad:

27.01.2009 FR 0900342
27.01.2009 US 147586 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.02.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 529 096 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 modo único con un área efectiva ampliada

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de transmisiones por fibra óptica, y más específicamente, una fibra de línea que tiene un área efectiva ampliada.
- 10 **[0002]** En fibras ópticas, el perfil de índice de refracción se clasifica generalmente de acuerdo con el aspecto de la gráfica de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra. De manera estándar, la distancia r al centro de la fibra se muestra en el eje x . En el eje y se muestra la diferencia entre el índice de refracción (para el radio r) y el índice de refracción del revestimiento de la fibra. Por lo tanto los términos "escalón", "trapecio", "triángulo" o "alfa" de índice de refracción, son utilizados para describir gráficas que tienen curvas con forma de escalón, trapecio, triángulo o de alfa respectivamente. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o establecido de la fibra, no obstante las restricciones de fabricación de la fibra pueden dar lugar a un perfil ligeramente diferente.
- 15 **[0003]** De manera estándar, una fibra óptica se compone de un núcleo óptico cuya función es transmitir y, opcionalmente, amplificar una señal óptica, y un revestimiento óptico cuya función es la de confinar la señal óptica dentro del núcleo. Para este fin, los índices de refracción del núcleo n_c y del revestimiento n_g son tales que $n_c > n_g$. Como es bien sabido, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica de modo único, se puede dividir en un modo fundamental que es guiado en el núcleo, y en modos secundarios, que se guían sobre una cierta distancia del conjunto de núcleo-revestimiento, llamados modos de revestimiento.
- 20 **[0004]** De manera estándar, las fibras de índice de escalón, también llamadas SMF ("fibras de modo único") son utilizadas como fibras de línea para sistemas de transmisión por fibra óptica. Estas fibras ópticas tienen una dispersión cromática y una pendiente de dispersión cromática que cumplen con normas específicas de telecomunicaciones, así como valores normalizados de área efectiva y longitud de onda de corte.
- 25 **[0005]** En respuesta a la necesidad de compatibilidad entre los sistemas ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha definido una norma, referencia UIT-T G.652, con la que debe cumplir una fibra óptica de transmisión estándar, llamada SSMF (fibra de modo único estándar).
- 30 **[0006]** Entre otras, la norma G.652, recomienda en una fibra óptica de transmisión, para el diámetro de campo modal (MFD) a una longitud de onda de 1.310 nm, la gama de 8,6 a 9,5 μm [8,6; 9,5 μm]; un máximo de 1.260 nm para el valor de la longitud de onda de corte de cable; la gama de 1300 a 1324 nm [1.300; 1324 nm] para el valor de la longitud de onda de dispersión nula indicada como ZDW; un máximo de 0,092 $\text{ps}/\mu\text{m}^2\text{-km}$ para el valor de la pendiente de dispersión cromática para la ZDW. De manera estándar, la longitud de onda de corte de cable, se mide como la longitud de onda para la que la señal óptica ya no es de modo único tras propagarse sobre más de veintidós metros de fibra, tal como se define por subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44.
- 35 **[0007]** De manera conocida per se, un aumento del área efectiva en una fibra de transmisión contribuye a una reducción de los efectos no lineales en la fibra óptica. Una fibra óptica de transmisión que tiene un área efectiva ampliada, permite una transmisión a través de una distancia mayor y/o un aumento en los márgenes de funcionamiento del sistema de transmisión. Típicamente, una SSMF tiene un área efectiva A_{eff} del orden de 80 μm^2 .
- 40 **[0008]** Con el fin de aumentar el área efectiva de una fibra óptica de transmisión, se propuso producir perfiles de fibra con un núcleo ampliado y aplanado en comparación con una SSMF. Sin embargo, tal modificación de la forma del núcleo de la fibra óptica, conduce a un aumento en las pérdidas por micro-curvatura y a un aumento para la longitud de onda efectiva y de corte cable en la fibra óptica. De manera estándar, la longitud de onda de corte efectiva se mide como la longitud de onda para la que la señal óptica es de modo único tras propagarse a través de más de dos metros de fibra óptica, tal como se define por subcomité 86A de la IEC en la norma IEC 60793-1-44.
- 45 **[0009]** El documento US-A-6658190 describe fibras ópticas de transmisión con un área efectiva ampliada mayor de 110 μm^2 . Estas fibras ópticas tienen un núcleo muy ancho, de 1,5 a 2 veces mayor del de una SSMF, y una configuración con un revestimiento constante o poco profundamente deprimido. Con el fin de compensar el aumento de las pérdidas por micro-curvatura producidas por un aumento del área efectiva, este documento propone aumentar el diámetro de la fibra óptica (figura 29). Un aumento tal del diámetro de la fibra óptica, sin embargo, implica en aumento en el coste y conduce a problemas de cableado a causa de la incompatibilidad con las demás fibras ópticas. Además, este documento señala que la longitud de onda de corte, disminuye con la longitud de la fibra óptica bajo consideración (figura 5) y, en particular, que la fibra óptica alcanza un carácter de modo único tras 1 km de transmisión. Tal medición de la longitud de onda de corte, sin embargo, no cumple con las mediciones normalizadas citadas anteriormente. Las fibras ópticas descritas en este documento tienen longitudes de onda de corte de cable superiores a 1.260 nm y longitudes de onda de dispersión cromática nula λ_0 menores de 1.300 nm.
- 50 **[0010]** El documento US-B-6516123 describe fibras ópticas que tienen un área efectiva mayor que 100 μm^2 , a una longitud de onda de 1.550 nm. Las fibras ópticas tienen una longitud de onda de corte de cable que es mayor que 1.260 nm y por lo tanto fuera de la norma G.652.
- 55 **[0011]** El documento US-B-7076139 describe una fibra óptica que tiene un área efectiva de 120 μm^2 , a una longitud de onda de 1.550 nm. Sin embargo, esta fibra óptica tiene una longitud de onda de corte de cable superior a 1.260 nm, y una ZDW de alrededor de 1.280 nm, valores que, por tanto, no cumplen con la norma G.652.
- 60 **[0012]** El documento US-A-2005/0244120 describe un ejemplo de una fibra óptica con un área efectiva de 106 μm^2 , a una longitud de onda de 1.550 nm. Esta fibra óptica, sin embargo, tiene una longitud de onda de corte de 1.858 nm, muy por encima del límite impuesto por la norma G.652.
- 65

[0013] El documento EP-A-1477831, describe ejemplos de fibras ópticas que tienen un área efectiva mayor de $100 \mu\text{m}^2$, a una longitud de onda de 1.550 nm . El ejemplo de la figura 8 muestra una fibra óptica que tiene una longitud de onda de corte inferior o igual a 1.270 nm , pero con una ZDW de 1.295 nm (valor calculado a partir del perfil de fibra) es decir, fuera de la norma G.652.

[0014] El documento US-B-6.483.975 describe una fibra óptica que tiene un área efectiva mayor de $100 \mu\text{m}^2$, para una longitud de onda de 1.550 nm . Sin embargo, los valores de longitud de onda de corte de esta fibra óptica son demasiado altos para cumplir con la norma G.652.

[0015] El documento EP-A-1978383 describe fibras ópticas que tienen un área efectiva mayor de $120 \mu\text{m}^2$, pero una longitud de onda de corte más alta de 1.260 nm , una longitud de onda de dispersión cromática nula, así como una pendiente de dispersión cromática para la longitud de onda de dispersión cromática nula que no cumplen la norma G.652.

[0016] Ninguno de los documentos de la técnica anterior identificados, describe una fibra óptica que tenga un área efectiva mayor de $100 \mu\text{m}^2$ a una longitud de onda de 1.550 nm , y que cumplan las restricciones de la norma G.652.

[0017] Por tanto, existe necesidad de una fibra óptica de transmisión que tenga un área efectiva ampliada, mayor que o igual a $100 \mu\text{m}^2$ a una longitud de onda de 1.550 nm , y que tenga una longitud de onda de corte de cable inferior o igual a 1.260 nm , una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida entre 1.300 nm y 1.324 nm , y una pendiente de dispersión cromática para la longitud de onda de dispersión cromática nula menor de $0,092 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$; es decir, una fibra óptica que tenga un área ampliada y que cumpla con las restricciones de la norma G.652, con excepción del diámetro de campo modal.

[0018] Para este fin, la invención propone un perfil de fibra que comprende un núcleo central, un primer revestimiento interior, un segundo revestimiento interior y un revestimiento óptico exterior; donde el núcleo central, y los primer y segundo revestimientos internos de la fibra óptica se han optimizado simultáneamente para ampliar el área efectiva de la fibra óptica, sin afectar adversamente a los restantes parámetros de transmisión impuestos por la norma G.652, con excepción del diámetro de campo modal .

[0019] Más particularmente, la invención propone una fibra óptica de modo único de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene:

- un área efectiva, a una longitud de onda de $1,550 \text{ nm}$, mayor de $100 \mu\text{m}^2$, con:
- una longitud de onda de corte de cable menor de 1.260 nm ;
- una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida entre 1.300 nm y 1.324 nm ;
- una pendiente de dispersión cromática menor de $0,092 \text{ ps/ nm}^2\text{-km}$ para la longitud de onda de dispersión cromática nula.

[0020] La presente invención se refiere a la utilización de un perfil de "revestido triple", que es normalmente utilizado para fibras de dispersión desplazada G.653/G.655/G.656, fibras de corte desplazado G.654 o fibras insensibles a curvatura G.657 para los fines de una fibra óptica G.652 de modo único. Los rangos de parámetros de perfil como se mencionó anteriormente que son esenciales para la presente invención, son muy diferentes de los utilizados para perfiles de revestido triple de las fibras de dispersión desplazada G.653/G.655/G.656, fibras de corte desplazado G.654 o fibras insensibles a curvatura G.657.

[0021] Según la presente invención, el núcleo central tiene un radio (r_1) comprendido entre $4,0 \mu\text{m}$ y $5,5 \mu\text{m}$.

[0022] Según la presente invención, el segundo revestimiento interior es un anillo que tiene una anchura (w_3), definida por r_3-r_2 (r_3 menos r_2) comprendido entre $0,9 \mu\text{m}$ y $1,6 \mu\text{m}$; el segundo revestimiento interior tiene una diferencia de índice positiva con el revestimiento óptico. El anillo tiene una diferencia de índice con el revestimiento óptico exterior comprendida entre 1×10^{-3} y $5,0 \times 10^{-3}$. El núcleo central puede tener entonces una diferencia de índice con el revestimiento óptico exterior comprendida entre $4,2 \times 10^{-3}$ y $5,2 \times 10^{-3}$ y pudiendo tener entonces el primer revestimiento interno una anchura (w_2) definida por r_2-r_1 , comprendida entre $0,5 \mu\text{m}$ y $1,5 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice con el revestimiento óptico externo comprendida entre $-2,0 \times 10^{-3}$ y $1,0 \times 10^{-3}$.

[0023] Según la presente invención, la fibra óptica tiene un área efectiva que es mayor que o igual a $100 \mu\text{m}^2$. Preferiblemente, el área efectiva es estrictamente mayor de $100 \mu\text{m}^2$.

[0024] De acuerdo con una realización de la presente invención, la fibra óptica tiene, para una longitud de onda de 1.625 nm , pérdidas por curvatura inferiores o iguales a $0,05 \text{ dB}/100\text{vueltas}$ para un radio de curvatura de 30 mm .

[0025] De acuerdo con una realización de la presente invención, la fibra óptica tiene, para una longitud de onda de 1.550 nm , pérdidas por micro-curvatura tales que la relación entre las pérdidas por micro-curvatura de la fibra óptica y las pérdidas por micro-curvatura de una fibra de modo único estándar (SSMF), sometida a idénticas sollicitaciones, es inferior o igual a 2.

[0026] Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto con la lectura de la descripción que sigue de realizaciones de la invención, dadas a modo de ejemplo y con referencia a las figuras adjuntas que muestran:

- La figura 1, una representación esquemática del perfil establecido de una fibra óptica según una primera forma de realización de la invención;
- La figura 2, una representación esquemática del perfil establecido de una fibra óptica de acuerdo con una segunda realización que no forma parte de la invención.

La fibra óptica de la invención se describirá con referencia a las figuras 1 y 2, cada una de las cuales representa un perfil establecido, es decir, representativo del perfil teórico de la fibra óptica, la fibra óptica realmente obtenida después de estirado de la fibra óptica a partir de una preforma puede tener un perfil ligeramente diferente.

Típicamente, el núcleo central y los primer y segundo revestimientos interiores, se obtienen mediante una deposición tipo CVD en un tubo de sílice y estando constituido el revestimiento óptico exterior mediante sobre-revestimiento del

tubo generalmente con sílice natural o dopada, pero también pueden obtenerse por cualquier otra técnica de deposición (VAD o OVD).

De acuerdo con una primera realización (figura 1), la fibra óptica de transmisión de acuerdo con la invención comprende un núcleo central que tiene una diferencia de índice Δn_1 con un revestimiento óptico exterior, que sirve como revestimiento óptico, un primer revestimiento interior correspondiente a un revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice Δn_2 con el revestimiento óptico exterior, y un segundo revestimiento interior que corresponde a un anillo que tiene una diferencia de índice Δn_3 positiva con el revestimiento óptico exterior.

El primer revestimiento interior ($w_2, r_2, \Delta n_2$) rodea directamente el núcleo central ($r_1, \Delta n_1$) y el anillo del segundo revestimiento interior ($w_3, r_3, \Delta n_3$) rodea directamente el primer revestimiento interior ($w_2, r_2, \Delta n_2$). Los índices de refracción en el revestimiento intermedio y en el anillo son aproximadamente constantes a lo largo de toda su longitud. El núcleo central puede estar en forma de escalón, de trapezoide, de triángulo o en alfa. La anchura del núcleo central se define por su radio r_1 , y las anchuras w_2 del revestimiento intermedio y w_3 del anillo por la diferencia entre su respectivo radio exterior y su respectivo radio interior.

En la fibra óptica de acuerdo con la primera forma de realización de la invención, el núcleo central tiene un radio r_1 , comprendido entre $4,0 \mu\text{m}$ y $5,5 \mu\text{m}$, y una diferencia de índice Δn_1 , comprendida preferiblemente entre $4,2 \times 10^{-3}$ y $5,2 \times 10^{-3}$ respecto del revestimiento óptico exterior (por ejemplo de sílice). El valor del radio r_1 , tiene que ser lo suficientemente grande para permitir un aumento del área efectiva, pero también lo suficientemente pequeño para obtener una longitud de onda de corte de cable inferior o igual a 1.260 nm . El revestimiento intermedio de la fibra óptica de acuerdo con la primera forma de realización de la invención tiene una anchura w_2 comprendida entre $0,5 \mu\text{m}$ y $1,5 \mu\text{m}$. Este revestimiento también tiene una diferencia de índice Δn_2 con el revestimiento óptico exterior, preferentemente comprendida entre -2×10^{-3} y $1,0 \times 10^{-3}$. La anchura w_2 del revestimiento intermedio tiene que ser lo suficientemente pequeña para asegurar un área efectiva, a una longitud de onda de 1.550 nm , que sea superior o igual a $100 \mu\text{m}^2$. El anillo tiene una anchura w_3 comprendida entre $0,9 \mu\text{m}$ y $1,6 \mu\text{m}$. Este anillo tiene una diferencia de índice Δn_3 con el revestimiento óptico exterior comprendida entre $1,0 \times 10^{-3}$ y $5,0 \times 10^{-3}$. La anchura w_3 del anillo tiene que ser lo suficientemente pequeña para obtener una longitud de onda de corte de cable inferior o igual a 1.260 nm , una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida entre 1.300 nm y 1.324 nm , y una pendiente de dispersión cromática para la longitud de onda de dispersión nula inferior a $0.092 \text{ ps/nm}^2\text{-km}$.

La tabla I a continuación proporciona cinco ejemplos de posibles perfiles de índice de refracción para una fibra óptica de transmisión según la primera realización de la invención, en comparación con los perfiles de índice de refracción de fibras ópticas descritas en el estado de la técnica. La primera columna da una referencia para cada perfil, las tres columnas siguientes muestran los valores de radio y las anchuras de cada sección (r_1, w_2, w_3), y mostrando las últimas columnas los valores de las diferencias de índices de cada sección respecto del revestimiento exterior (Δn_1 a Δn_3). Los valores del índice se miden a una longitud de onda de 633 nm . Las fibras ópticas de los ejemplos de la tabla I tienen un diámetro exterior de $125 \mu\text{m}$. Los valores de la tabla I corresponden a perfiles establecidos de fibras ópticas.

Tabla I

Ejemplos de perfiles de acuerdo con 1ª realización	r_1 (μm)	w_2 (μm)	w_3 (μm)	Δn_1 ($\cdot 10^{-3}$) @633nm	Δn_2 ($\cdot 10^{-3}$) @633nm	Δn_3 ($\cdot 10^{-3}$) @633nm
1	4,51	1,10	1,22	4,7	0,4	2,4
2	4,37	0,61	1,44	4,8	-0,7	2,9
3	4,50	0,65	1,39	4,7	-1,1	3,0
4	4,40	0,91	1,27	4,7	0,2	3,0
5	4,87	1,01	1,14	4,5	-1,2	3,0
US-B-6516123	5,00	1,20	2,00	4,9	-2,9	3,2
US-B-7076139	7,75	18,60	4,65	4,1	-0,7	1,9

[0027] La tabla II a continuación sigue mostrando las características ópticas simuladas para las fibras ópticas de transmisión correspondientes a los perfiles de índice 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, los valores de longitud de onda de corte de cable λ_{cc} , de diámetro de campo modal $2W_{02}$ para la longitud de onda de 1.310 nm , área efectiva A_{eff} a una longitud de onda de 1.550 nm , la dispersión cromática D a una longitud de onda de 1.550 nm , y la pendiente de dispersión cromática P a una longitud de onda de 1.550 nm . Las últimas columnas proporcionan, para cada perfil de fibra, los valores de longitud de onda de dispersión cromática nula Z_{DW} , y la pendiente de dispersión cromática P_{ZDW} para esta longitud de onda.

Tabla II

Ejemplos de perfiles de acuerdo con 1ª realización	λ_{cc} (nm)	$2W_{02}$ @1310 nm (μm)	A_{eff} @1550 nm (μm^2)	D @1550 nm (ps/nmkm)	P @1550 nm (ps/nm ² -km)	Z_{DW} (nm)	P_{ZDW} @ Z_{DW} (ps/nm ² -km)
1	1.260	10,1	100	17,5	0,062	1.310	0,090
2	1.260	10,2	101	17,6	0,062	1.310	0,090

3	1.260	10,4	105	17,6	0,062	1.310	0,090
4	1.260	10,3	104	17,6	0,062	1.310	0,090
5	1.250	10,4	106	17,5	0,062	1.310	0,090
US-B-6516123	>1.350	10,0	100	17,4	0,062	1.310	0,086
US-B-7076139	>1.400	12,6	156	21,2	0,064	<1.290	>0,095

5 [0028] Para los cinco ejemplos de acuerdo con la primera forma de realización de la invención, a partir de la tabla II se observa que el área efectiva A_{eff} para una longitud de onda de 1.550 nm, es superior o igual a $100 \mu\text{m}^2$, o incluso estrictamente superior a $100 \mu\text{m}^2$ para cuatro los ejemplos. El diámetro de campo modal $2W_{02}$ para la longitud de onda de 1.310 nm es superior a 9,5 μm . La fibra óptica de acuerdo con la primera realización, por lo tanto no cumple con todas las normas G.652. Sin embargo, un diámetro de campo modal $2W_{02}$ para la longitud de onda de 1.310 nm, fuera de la norma G.652 no es perjudicial, porque la mayoría de los sistemas ópticos actuales ya no funcionan a una longitud de onda de 1.310 nm. Se observan una longitud de onda de corte de cable λ_{cc} que es menor que o igual a 1.260 nm, una longitud de onda de dispersión cromática nula ZDW que está comprendida entre 1.300 nm y 1.324 nm, y una pendiente de dispersión cromática para la longitud de onda de dispersión cromática nula P_{ZDW} que es menor que 0,092ps/nm²-km. Por lo tanto la fibra óptica de acuerdo con la primera forma de realización de la invención cumple con las restricciones de la norma G.652 en relación a la longitud de onda de corte de cable, la longitud de onda de dispersión cromática nula, y la pendiente de dispersión cromática en la longitud de onda de dispersión cromática nula.

10 [0029] La fibra óptica de acuerdo con la primera forma de realización de la invención está optimizada para cumplir con las restricciones de un área efectiva mayor que o igual a $100 \mu\text{m}^2$, preservando al mismo tiempo los parámetros ópticos que cumplan la norma G.652, con la excepción de las especificaciones sobre el diámetro de campo modal. Para comprender mejor estas optimizaciones, los límites de las fibras ópticas del estado de la técnica se describirán en relación con los parámetros que se muestran en negrita en las tablas I y II. En la fibra óptica descrita en el documento US-B-6 516 123, la longitud de onda de corte de cable es mayor que 1.260 nm, debido a que la anchura w_3 del anillo es demasiado grande. En la fibra óptica descrita en el documento US-B-7076139, la longitud de onda de corte de cable es mayor que 1.260 nm, debido a que la anchura w_3 del anillo es demasiado grande; la longitud de onda de dispersión cromática nula es menor que 1.300 nm, y la pendiente de dispersión cromática en la longitud de onda de dispersión cromática nula es mayor de 0,092 ps/nm²-km porque la anchura r_1 del núcleo y la anchura w_2 del revestimiento intermedio son demasiado grandes

15 [0030] De acuerdo con una segunda forma de realización que no forma parte de la invención (figura 2), la fibra óptica de transmisión comprende un núcleo central que tiene una diferencia de índice Δn_1 con un revestimiento óptico exterior, que sirve como revestimiento óptico, un primer revestimiento interior correspondiente a un revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice Δn_2 con el revestimiento óptico exterior, y un segundo revestimiento interior correspondiente a un revestimiento deprimido tiene una diferencia de índice negativa Δn_3 con el revestimiento óptico exterior. El primer revestimiento interior ($w_2, r_2, \Delta n_2$) rodea directamente el núcleo central ($r_1, \Delta n_1$) y el revestimiento deprimido del segundo revestimiento interior ($w_3, r_3, \Delta n_3$), rodea directamente el primer revestimiento interior ($w_2, \Delta n_2$). Los índices de refracción en el revestimiento intermedio y en el revestimiento deprimido son aproximadamente constantes a lo largo de toda su longitud. El núcleo central puede tener forma de escalón, trapecoide, triángulo o en alfa. La anchura del núcleo central se define por su radio r_1 , y las anchuras w_2 del revestimiento intermedio y w_3 del revestimiento por medio de la diferencia entre su respectivo radio exterior y su respectivo radio interior.

20 [0031] En la fibra óptica de acuerdo con la segunda realización, el núcleo central tiene un radio r_1 comprendido entre 4,0 μm y 5,5 μm , y una diferencia de índice Δn_1 en comparación con el revestimiento óptico exterior (por ejemplo, de sílice), comprendido preferiblemente entre $3,5 \times 10^{-3}$ y $5,0 \times 10^{-3}$. El valor r_1 del radio del núcleo central tiene que ser lo suficientemente grande para proporcionar un área efectiva a alcanzar mayor que o igual a $100 \mu\text{m}^2$, pero también lo suficientemente pequeño para obtener una longitud de onda de corte de cable menor de 1.260 nm. El revestimiento intermedio de la fibra óptica de acuerdo con la segunda realización de la invención tiene una anchura w_2 comprendida entre 7,0 μm y 10,0 μm . Este revestimiento también tiene una diferencia de índice Δn_2 con el revestimiento óptico exterior, preferentemente comprendida entre $1,0 \times 10^{-3}$ y $-1,0 \times 10^{-3}$. La anchura w_2 del revestimiento intermedio tiene que ser lo suficientemente grande como para proporcionar una longitud de onda de dispersión cromática nula mayor de 1.300 nm, y una pendiente de dispersión cromática en la longitud de onda de dispersión cromática nula menor de 0,092 ps/nm²-km. La fibra óptica de acuerdo con la segunda realización comprende además un revestimiento deprimido con una anchura w_3 comprendida entre 2,5 μm y 4,5 μm . Este revestimiento deprimido tiene una diferencia de índice Δn_3 con el revestimiento óptico exterior menor que $-3,5 \times 10^{-3}$ y preferiblemente mayor que -10×10^{-3} . La anchura y la profundidad del revestimiento deprimido se eligen respectivamente lo suficientemente pequeña y lo suficientemente grande de tal manera que, combinados con los parámetros descritos anteriormente, el perfil esté optimizado a fin de obtener una longitud de onda de corte de cable inferior o igual a 1.260 nm, una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida entre 1.300 nm y 1.324 nm, y una pendiente de dispersión cromática en la longitud de onda de dispersión cromática nula de menos de 0,092 ps/nm²-km.

25 [0032] La tabla III a continuación da cuatro ejemplos de posibles perfiles de índice para una fibra óptica de transmisión según la segunda realización, en comparación con los perfiles de índice de fibras ópticas descritas en el estado de la técnica. La primera columna proporciona una referencia a cada perfil, las tres columnas siguientes muestran los valores de radio y las anchuras de cada sección (r_1, w_2, w_3), y las últimas columnas muestran los

valores de las diferencias de índices de cada sección con el revestimiento exterior (Δn_1 a Δn_3). Los valores del índice se miden a una longitud de onda de 633 nm. Las fibras ópticas de los ejemplos de la tabla III tienen un diámetro exterior de 125 μm . Los valores de la tabla III corresponden a perfiles establecidos de fibras ópticas.

5

Tabla III

Ejemplos de perfiles de acuerdo con 2ª realización	r_1 (μm)	w_2 (μm)	w_3 (μm)	$\Delta n_1(.10^{-3})$ @633nm	$\Delta n_2(.10^{-3})$ @633nm	$\Delta n_3(.10^{-3})$ @633nm
1	4,75	8,08	3,17	4,1	0,1	-6,0
2	4,76	7,80	3,44	4,0	0,2	-6,0
3	4,77	7,31	3,92	3,9	0,3	-6,0
4	4,71	7,23	3,06	4,2	0,3	-6,0
EP-A-1978383	6,04	5,23	4,73	4,3	0,0	-4,7
US-A-2005/0244120	7,10	5,20	12,80	4,6	0,0	-2,9
EP-A-1477831	6,00	10,00	18,00	4,0	-0,3	-1,3

10 **[0033]** La tabla IV a continuación muestra características ópticas simuladas para las fibras ópticas de transmisión correspondientes a los perfiles de índice de la tabla III. En la tabla IV, la primera columna repite las referencias de la tabla III. Las siguientes columnas proporcionan, para cada perfil de fibra, los valores de longitud de onda de corte de cable λ_{cc} , el diámetro de campo modal $2W_{02}$ para la longitud de onda de 1.310 nm, el área efectiva A_{eff} en una longitud de onda de 1.550 nm, la dispersión cromática D en una longitud de onda de 1.550 nm, y la pendiente de dispersión cromática P a una longitud de onda de 1.550 nm. Las últimas columnas proporcionan, para cada perfil de fibra, los valores de longitud de onda de dispersión cromática nula ZDW, y la pendiente de dispersión P_{ZDW} en esta longitud de onda.

15

Tabla IV

20

Ejemplos de perfiles de acuerdo con 2ª realización	λ_{cc} (nm)	$2W_{02}$ @1310 nm (μm)	A_{eff} @1550nm (μm^2)	D @1550 nm (ps/nmkm)	P @1550 nm (ps/nm ² -km)	ZDW (nm)	P_{ZDW} @ZDW (ps/nm ² -km)
1	1.190	10,2	102	17,9	0,063	1.310	0,090
2	1.190	10,3	104	18,0	0,063	1.310	0,090
3	1.200	10,6	108	18,3	0,064	1.305	0,091
4	1.200	10,3	103	18,1	0,064	1.310	0,090
EP-A-1978383	>1400	11,3	122	20,5	0,064	< 1.290	> 0,095
US-A-2005/0244120	1.858	10,5	106	19,2	0,064	1.301	0,092
EP-A-1477831	≤ 1.270	10,8	110	18,6	0,061	<1.300	0,092

25

30

35

40

45

[0034] Para los cuatro ejemplos de acuerdo con la segunda forma de realización, a partir de la tabla IV se observa que el área efectiva A_{eff} a una longitud de onda de 1.550 nm es mayor que o igual a 100 μm^2 , o incluso estrictamente superior a 100 μm^2 . El diámetro de campo modal $2W_{02}$ para la longitud de onda de 1.310 nm es superior a 9,5 μm . La fibra óptica de acuerdo con la segunda realización, por lo tanto no cumple con todas las normas G.652. Sin embargo, un diámetro de campo modal $2W_{02}$ para la longitud de onda de 1.310 nm, fuera de la norma G.652 no es perjudicial, porque la mayoría de los sistemas ópticos actuales ya no funcionan a una longitud de onda de 1.310 nm. Se observaron una longitud de onda de corte de cable λ_{cc} que es menor que o igual a 1.260 nm, una longitud de onda de dispersión cromática nula ZDW que está comprendida entre 1.300 nm y 1.324 nm, y una pendiente de dispersión cromática P_{ZDW} en la longitud de onda de dispersión cromática nula que es menor de 0,092 ps/nm²-km. Por lo tanto la fibra óptica de acuerdo con la segunda forma de realización cumple con las restricciones de la norma G.652 respecto de la longitud de onda de corte de cable, la longitud de onda de dispersión cromática nula, y la pendiente de dispersión cromática a la longitud de onda de dispersión cromática nula.

[0035] La fibra óptica de acuerdo con la segunda realización se encuentra optimizada para cumplir con las restricciones de un área efectiva mayor que o igual a 100 μm^2 , preservando al mismo tiempo los parámetros ópticos que cumplen la norma G.652, con la excepción de las especificaciones sobre el diámetro de campo modal. Para comprender mejor estas optimizaciones, los límites de las fibras ópticas del estado de la técnica se describirán en relación con los parámetros que se muestran en negrita en las tablas III y IV. En la fibra óptica descrita en el documento EP-A-1978383, la longitud de onda de corte de cable es mayor que 1.260 nm, la longitud de onda de dispersión cromática nula es inferior a 1.300 nm, y la pendiente de dispersión cromática en la longitud de onda de dispersión cromática nula es mayor de 0,092 ps/nm²-km, debido a que el radio r_1 del núcleo es demasiado grande y la anchura w_2 del revestimiento intermedio es demasiado pequeña. En la fibra óptica descrita en el documento US-A-2005/0244120, la longitud de onda de corte de cable es mayor de 1.260 nm, debido a que el radio r_1 del núcleo, la anchura w_3 y la diferencia de índice de Δn_3 del revestimiento deprimido son demasiado grandes. Finalmente, en la

fibra óptica descrita en el documento EP-A-1477831, la longitud de onda de dispersión cromática nula es inferior a 1.300 nm, debido a que el revestimiento es muy ancho y poco profundo.

5 **[0036]** La fibra óptica de acuerdo con la invención tiene pérdidas por curvatura para un radio de 30 mm que son menores de 0,05 dB/(100 vueltas) para una longitud de onda de 1.625 nm. Estos valores de pérdidas por curvatura son equivalentes a las de las fibras ópticas estándar. Además, la fibra óptica de acuerdo con la invención tiene las pérdidas por micro-curvatura tales que la relación entre las pérdidas por micro-curvatura de una fibra óptica de acuerdo con la invención y las pérdidas por micro-curvatura en una SSMF, sometida a sollicitaciones idénticas, es inferior o igual a 2, o incluso 1,5 . Las pérdidas por micro-curvatura se pueden medir, por ejemplo, por un procedimiento denominado procedimiento de tambor de diámetro fijado. Este procedimiento se describe en la recomendación técnica del subcomité 86A IEC bajo la referencia IEC TR-62221.

10 **[0037]** La fibra óptica de transmisión de acuerdo con la invención es particularmente adecuada para sistemas de transmisión de larga distancia. El aumento del área efectiva, sin degradación significativa de los restantes parámetros ópticos de la fibra óptica, permite un aumento en la potencia de las señales ópticas de transmisión sin aumentar los efectos no lineales; de este modo se mejora la relación señal-ruido de la línea de transmisión, que es buscada de manera particularmente deseada en sistemas submarinos o terrestres de transmisión óptica de larga distancia.

15 **[0038]** La fibra óptica de acuerdo con la invención tiene un valor de área efectiva que está aumentado en comparación con una SSMF. Además, la fibra óptica de acuerdo con la invención, cumple con las recomendaciones de la norma G.652 ITUT, con la excepción de las especificaciones sobre el valor del diámetro de campo modal $2W_0$ a una longitud de onda de 1.310 nm. La fibra óptica de acuerdo con la invención, por lo tanto se puede instalar en numerosos sistemas de transmisión con buena compatibilidad con las restantes fibras ópticas del sistema.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Fibra óptica de modo único que comprende:
- un núcleo central que tiene un radio r_1 comprendido entre $4,0\ \mu\text{m}$ y $5,5\ \mu\text{m}$ y una diferencia de índice positivo Δn_1 con un revestimiento óptico exterior, comprendida entre $4,2 \times 10^{-3}$ y $5,2 \times 10^{-3}$;
 - un primer revestimiento interior que tiene un radio r_2 , una anchura w_2 definida por $r_2 - r_1$, comprendida entre $0,5\ \mu\text{m}$ y $1,5\ \mu\text{m}$ y una diferencia de índice Δn_2 con el revestimiento exterior, comprendida entre $-2,0 \times 10^{-3}$ y $1,0 \times 10^{-3}$;
 - 10 - un segundo revestimiento interior anular que tiene un radio r_3 , una anchura w_3 definida como $r_3 - r_2$, comprendida entre $0,9\ \mu\text{m}$ y $1,6\ \mu\text{m}$ y una diferencia de índice positiva Δn_3 , comprendida entre 1×10^{-3} y $5,0 \times 10^{-3}$ con el revestimiento exterior;
- teniendo dicha fibra óptica:
- un área efectiva a una longitud de onda de $1.550\ \text{nm}$ que es superior o igual a $100\ \mu\text{m}^2$,
 - una longitud de onda de corte de cable menor de $1.260\ \text{nm}$;
 - 15 - una longitud de onda de dispersión cromática nula, comprendida entre $1.300\ \text{nm}$ y $1.324\ \text{nm}$;
 - una pendiente de dispersión cromática menor de $0,092\ \text{ps/nm}^2\text{-km}$ para la longitud de onda de dispersión cromática nula.
- 20 2. Fibra óptica de modo único de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada porque para una longitud de onda de $1.625\ \text{nm}$, tiene pérdidas por curvatura inferiores o iguales a $0,05\ \text{dB}/100\text{vueltas}$ para un radio de curvatura de $30\ \text{mm}$.
- 25 3. Fibra óptica de modo único de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque para una longitud de onda de $1.550\ \text{nm}$, tiene pérdidas por micro-curvatura tales que la relación entre las pérdidas por micro-curvatura de la fibra y las pérdidas por micro-curvatura de una fibra de modo único estándar SSMF sometida a solicitaciones idénticas, es menor que o igual a 2.

Figura 1

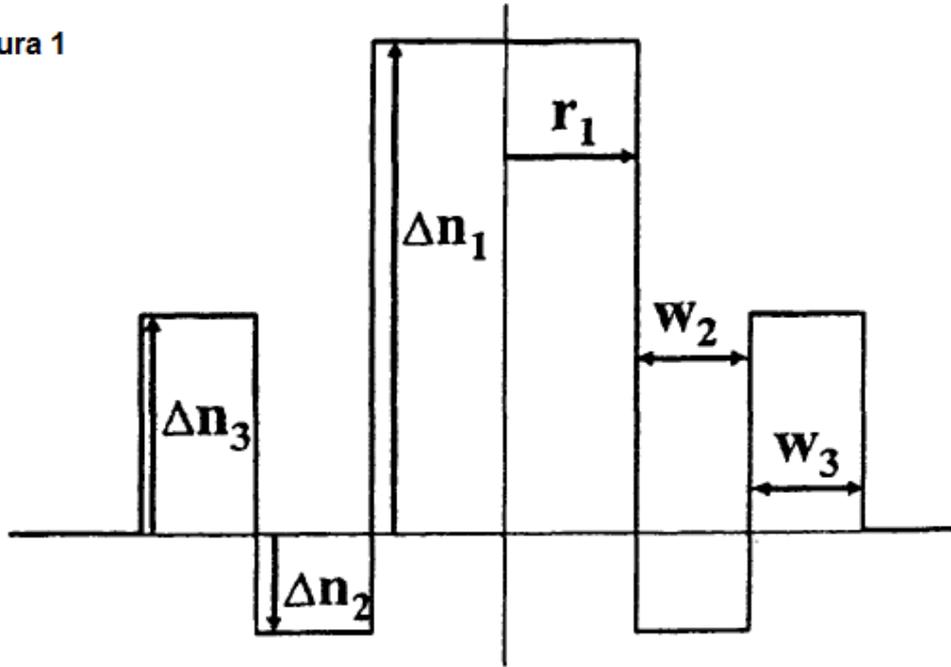
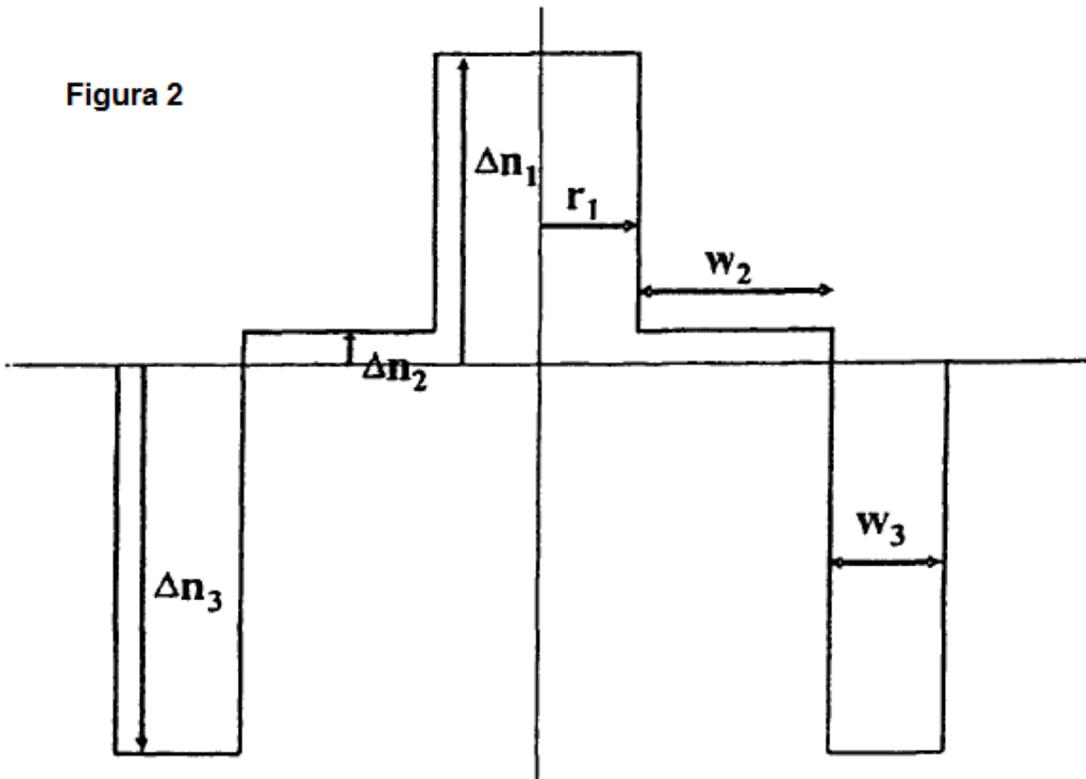


Figura 2



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 6658190 A [0009]
 - US 6516123 B [0010] [0026] [0027] [0029]
 - US 7076139 B [0011] [0026] [0027] [0029]
 - US 20050244120 A [0012] [0032] [0033] [0035]
 - EP 1477831 A [0013] [0032] [0033] [0035]
 - US 6483975 B [0014]
 - EP 1978383 A [0015] [0032] [0033] [0035]
- 10