

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 458**

51 Int. Cl.:
G02B 6/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09004952 .9**
96 Fecha de presentación: **03.04.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2107402**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.10.2009**

54 Título: **Fibra óptica de dispersión desplazada**

30 Prioridad:
04.04.2008 FR 0801868

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.05.2012

73 Titular/es:
DRAKA COMTEQ B.V.
DE BOELELAAN 7
1083 HJ AMSTERDAM, NL

72 Inventor/es:
Sillard, Pierre;
Regnier, Elise;
Bigot-Astruc, Marianne;
Molin, Denis;
De Montmorillon, Louis-Anne y
Richard, Simon

74 Agente/Representante:
Arpe Fernández, Manuel

ES 2 381 458 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 dispersión desplazada.

[0001] La presente invención se refiere al ámbito de las transmisiones por fibra óptica, y más concretamente, a una fibra de dispersión desplazada que presenta una reducida atenuación sin que se produzca un aumento de las pérdidas por flexión.

[0002] En el caso de las fibras ópticas, el perfil de índice se define generalmente en función del aspecto del gráfico de la función que asocia al radio de la fibra el índice de refracción. Normalmente, se representa en el eje de abscisas la distancia r al centro de la fibra, y en el de las ordenadas la diferencia entre el índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento de la fibra. El revestimiento exterior actúa como revestimiento óptico, y su índice de refracción se mantiene sustancialmente constante; este revestimiento óptico suele consistir en sílice puro, pero también puede contener uno o varios dopantes. De este modo, se habla de perfiles de índice en “escalón”, en “trapezio”, en “triángulo” o “alfa” para los gráficos que presentan respectivamente formas de escalón, trapezio o triángulo. En general, estas curvas representan el perfil teórico o de configuración de la fibra, pero las limitaciones de fabricación de la fibra pueden dar lugar a un perfil ligeramente diferente.

[0003] Convencionalmente, una fibra óptica consta de un núcleo óptico cuya función consiste en transmitir, y posiblemente amplificar, una señal óptica, y de un revestimiento óptico cuya función consiste en confinar la señal óptica en el interior del núcleo. Para ello, los índices de refracción del núcleo n_c y del revestimiento n_g son tales que $n_c > n_g$. Como es perfectamente sabido, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica monomodo se descompone en un modo fundamental guiado en el núcleo y unos modos secundarios guiados a lo largo de una cierta distancia en el conjunto formado por el revestimiento y el núcleo, denominados modos de revestimiento.

[0004] Por lo general, se utilizan como fibra de línea para los sistemas de transmisión terrestres las denominadas SSMF (fibra monomodo estándar), o fibras de dispersión desplazada, también denominadas fibras NZ-DSF (non-zero dispersion shifted fibers, fibras de dispersión desplazada no nula). Las fibras de dispersión desfasada que presentan una dispersión cromática no nula para las longitudes de onda a las cuales se utilizan, que normalmente oscilan en torno a los 1550 nm, se describen como NZDSF+.

[0005] Normalmente, las fibras SSMFs se ajustan a unas normas de telecomunicaciones específicas, y especialmente, a la norma G.652. Las SSMFs presentan una atenuación de aproximadamente 0,19 dB/km, medida a la longitud de onda de 1.550 nm, con una contribución Rayleigh del orden de 0,160 dB/km, una superficie efectiva de en torno a 80 μm^2 , una longitud de onda de corte efectiva inferior a 1.350 nm, una dispersión cromática positiva de unos 17 ps/nm-km a 1.550 nm y un gradiente de dispersión positivo de 0,058 ps/nm²-km.

[0006] Las fibras NZDSF+, a una longitud de onda de 1.550 nm, presentan una dispersión cromática inferior a las de las SSMFs, que suele estar comprendida entre 3 y 14 ps/nm-km, y un gradiente de dispersión cromática que suele ser inferior a 0,1 ps/(nm².km). Las fibras NZDSF+ suelen utilizarse para sistemas de transmisión a corta distancia, y cumplen unas normas de telecomunicaciones específicas, concretamente las normas G.655 y G.656.

[0007] La figura 1 muestra los perfiles de configuración de una fibra SSMF y de una fibra estándar NZDSF. Los perfiles mostrados son perfiles de configuración, o lo que es lo mismo, son representativos del perfil teórico de la fibra, y la fibra realmente obtenida tras su estirado a partir de una preforma puede presentar un perfil ligeramente diferente.

[0008] Por lo general, una fibra SSMF comprende un núcleo central con un radio de 4.35 μm y que presenta una diferencia de índice de $5.2 \cdot 10^{-3}$ con respecto al revestimiento exterior, que actúa como revestimiento óptico. Una fibra estándar de tipo NZDSF comprende un núcleo central que presenta una diferencia de índice $Dn1$ con un revestimiento exterior, que actúa como revestimiento óptico, un revestimiento intermedio que presenta una diferencia de índice $Dn2$ con el revestimiento exterior y un anillo que presenta una diferencia de índice $Dn3$ con el revestimiento exterior. Los índices de refracción del núcleo central, del revestimiento intermedio y del anillo permanecen sustancialmente constantes a lo largo de todas sus anchuras. La anchura del núcleo se define mediante su radio $r1$, y la anchura del revestimiento intermedio y del anillo por sus respectivos radios exteriores, $r2$ y $r3$. Normalmente, el núcleo central, el revestimiento intermedio el anillo y el revestimiento exterior se obtienen mediante deposición de tipo CVD en un tubo de sílice, y el revestimiento óptico se forma mediante el tubo y el revestimiento exterior del tubo, que suele ser por lo general de sílice natural o dopado, pero que también puede obtenerse mediante cualquier otra técnica de deposición (VAD u OVD).

[0009] Como puede apreciarse en la figura 1, las fibras NZDSFs tienen un núcleo central con un radio menor y una mayor diferencia de índice que el núcleo central, de una fibra SSMF. Gracias a estas dimensiones del núcleo puede reducirse la dispersión cromática. Sin embargo, el mayor dopado del núcleo, en comparación con una SSMF introduce unas mayores pérdidas por dispersión de Rayleigh, superiores a 0,164 dB/km, lo que produce una atenuación superior a 0,190 dB/km a 1.550 nm.

[0010] Sería deseable poder reducir la atenuación de una fibra NZDSF hasta un valor equivalente al de una fibra SSMF. En una forma conocida per se, la mayor parte de la atenuación de una fibra óptica se debe a las pérdidas

por dispersión de Rayleigh, en parte a las pérdidas por absorción y a las pérdidas provocadas por defectos de la guía.

5 **[0011]** En el caso de una fibra NZDSF, la presencia una mayor concentración de dopantes en el núcleo, en comparación con una SSMF, incrementa las pérdidas por dispersión de Rayleigh. Se sabe que se pueden reducir las pérdidas por dispersión de Rayleigh fabricando fibras con un núcleo de sílice puro. Esto es lo que se propone, por ejemplo, en la publicación "Ultra Low Loss (0,1484 dB/km) Pure Silica Core Fiber", de K. Nagayama et al. Publicada en SEI Technical Review, No. 57, Enero 2004; o en la publicación "Optical Loss Property of Silica-Based Single Mode Fibers" de M. Ohashi et al. Publicada en el Journal of Lightwave Technology, Vol. 10, No. 5, Mayo 1992, págs. 539-543. No obstante, las fibras con un núcleo de sílice puro resultan costosas de fabricar a causa de la obligación de enterrar el revestimiento óptico mediante dopaje, por ejemplo con flúor.

10 **[0012]** También se que se pueden reducir las pérdidas por dispersión de Rayleigh optimizando las condiciones de estirado de la fibra. Por ejemplo, esto es lo que se describe en la publicación "Rayleigh Scattering Reduction Method for Silica-Based Optical Fiber" de K. Tsujikawa et al., publicada en el Journal of Lightwave Technology, Vol. 18, No. 11, Noviembre 2000, págs. 1528-1532; o en la publicación "A high performance GeO₂/SiO₂ NZ-DSF and the prospects for future improvement using Holey Fiber technology" de K. Mukasa et al. publicado en ECOC'05, Tu 1.4.6. Sin embargo, las soluciones propuestas resultan complicadas de aplicar a nivel industrial, debido a que se utiliza una serie de temperaturas de estirado de la fibra, con unos ciclos de calentamiento y enfriamiento que resultan difíciles de controlar.

15 **[0013]** El documento US-A-6576164 también propone un método para la fabricación de fibra SSMF, en el que las condiciones de estirado de la fibra están optimizadas para reducir las pérdidas provocadas por la dispersión de Rayleigh. No obstante, el método propuesto en dicho documento requiere un equipo complejo, con dispositivos de enfriamiento adicionales.

20 **[0014]** El documento EP-A-1256554 describe un método de fabricación de una fibra de índice escalonado que comprende un núcleo central dopado con germanio y unos revestimientos externo y óptico con un índice inferior al de la sílice. Debido al hecho de que le revestimiento se encuentra parcialmente enterrado, puede reducirse la cantidad de dopante presente en el núcleo, con lo que se reduce la atenuación de la fibra. No obstante, dicha solución resulta costosa y no es directamente aplicable a una fibra de tipo NZDSF.

25 **[0015]** El documento EP-A-1288685 describe una fibra de dispersión desplazada no nula que comprende un núcleo central un revestimiento intermedio, un anillo, un revestimiento deprimido y un revestimiento óptico. No se mencionan pérdidas por efecto Rayleigh.

30 **[0016]** Los documentos EP-A-1434071, EP-A-1382981, EP-A-1865348 y

[0017] EP-A-1 734 390 describen una fibra de compensación de la dispersión que comprende un núcleo central, un revestimiento intermedio, un anillo, un revestimiento deprimido y un revestimiento óptico. No se mencionan las pérdidas por efecto Rayleigh.

35 **[0018]** El documento EP-A-1610160 describe una fibra de compensación de la dispersión que comprende un núcleo central y al menos cinco revestimientos internos. No se mencionan las pérdidas por efecto Rayleigh.

40 **[0019]** La figura 2 muestra un perfil de configuración de una fibra NZDSF cuya totalidad de la estructura habría sido parcialmente enterrada, es decir, un menor dopado del núcleo, y cuyo revestimiento intermedio y revestimiento exterior presentan unos índices inferiores al de la sílice. El revestimiento óptico (que puede fabricarse mediante OVD, VAD, CVD, mediante el tubo o mediante el revestimiento exterior del tubo con el que se ha fabricado la preforma) sigue siendo de sílice, por razones de coste. Si bien dicho perfil de fibra reduce realmente las pérdidas por dispersión de Rayleigh a unos valores sustancialmente idénticos a los de las SSMF, las pérdidas por flexión experimentan una clara degradación (Véase más adelante el ejemplo 2a de las tablas I y II).

45 **[0020]** También se sabe, especialmente gracias al documento US-A-4852968, que es posible reducir las pérdidas por flexión mediante un surco enterrado. No obstante, mediante el hecho de añadir simplemente un surco enterrado a la estructura propuesta en la figura 2, no es posible conseguir unas pérdidas por flexión aceptables, como se aprecia en el ejemplo 2b de las tablas I y II.

50 **[0021]** Por lo tanto, es necesario conseguir una fibra NZDSF+ con unas menores pérdidas por dispersión de Rayleigh sin que se produzca una degradación del resto de parámetros, y especialmente, de las pérdidas por flexión, y que pueda fabricarse a un precio razonable y sin tener que cambiar de equipo de estirado de la fibra.

[0022] Por lo tanto, la invención propone una optimización global del perfil de una fibra NZDSF para conseguir una atenuación cercana a la de una fibra SSMF, limitando al mismo tiempo las pérdidas por flexión y observando los criterios de las normas relativas a las NZDSFs, sobre todo en lo tocante a la dispersión, superficie efectiva y longitud de onda de corte.

[0023] Más concretamente, la invención propone una fibra óptica de dispersión desplazada no nula (NZDSF) que comprende, desde el centro hacia la periferia, un núcleo central, un revestimiento interno que comprende cuatro zonas y un revestimiento óptico conforme a la reivindicación 1.

5 **[0024]** Conforme a las realizaciones, la fibra de la invención puede comprender adicionalmente una o más de las características siguientes:

El núcleo central presenta una diferencia de índice frente al revestimiento óptico inferior a $7,5 \cdot 10^{-3}$;

La diferencia de índice de la zona de revestimiento intermedio con respecto al revestimiento óptico oscila entre $2,5 \cdot 10^{-3}$ y $1,5 \cdot 10^{-3}$;

La diferencia de índice de la zona anular con respecto al revestimiento óptico está comprendida entre 0,0 y $5 \cdot 10^{-3}$;

10 El radio del núcleo está comprendido entre 2 μm y 4,35 μm ;

El radio exterior de la zona de revestimiento intermedio oscila entre 4,5 μm y 8,5 μm ;

La anchura de la zona anular oscila entre 3 μm y 7,5 μm ;

El radio interior de la zona de surco enterrado es de más de 10 μm ;

El radio exterior de la zona de surco enterrado es menor o igual a 17 μm ;

15 La fibra presenta, para una longitud de onda de 1.550 nm, una dispersión cromática inferior a 12 ps/nm-km;

La fibra presenta, para una longitud de onda de 1.550 nm, un gradiente de dispersión cromática inferior o igual a 0,09 ps/nm²-km;

La fibra presenta una longitud de onda de corte efectiva inferior a 1.600 nm;

La fibra presenta una superficie efectiva de más de 50 μm^2 ;

20 La diferencia de índice con el revestimiento óptico está comprendida entre $-2,5 \cdot 10^{-3}$ y $1,10^{-3}$; el radio de la cuarta zona de revestimiento está comprendido entre 11 μm y 14,5 μm .

[0025] Se apreciarán otras características y ventajas de la invención mediante la lectura de la siguiente descripción, que se facilita como ejemplo y en la que se hace referencia a las figuras adjuntas, las cuales muestran:

25 La figura 1, que ya se ha descrito, muestra una ilustración gráfica del perfil de configuración de una fibra SSMF y de una fibra NZDSF+ de acuerdo con la técnica anterior;

La figura 2, que ya se ha descrito, muestra una ilustración gráfica del perfil de configuración de una fibra NZDSF+ de acuerdo con una realización conforme a la invención;

La figura 3 muestra una ilustración gráfica del perfil de configuración de una fibra NZDSF+ de acuerdo con una realización de la invención.

30 La figura 4 muestra una ilustración gráfica del perfil de configuración de una fibra NZDSF+ de acuerdo con una realización comparativa.

[0026] La fibra conforme a la invención es una fibra de dispersión desplazada no nula, que presenta una dispersión cromática inferior a la dispersión cromática de una fibra estándar de índice escalonado SSMF. La fibra conforme a la invención presenta unas reducidas pérdidas por dispersión de Rayleigh, inferiores a 0,164 dB/km a 1.550 nm. Asimismo, al fibra conforme a la invención tiene unas limitadas pérdidas por flexión, inferiores a 0,5 dB/vuelta para un radio de curvatura de 16 mm a 1.550 nm, e inferiores a 0,5 dB/100 vueltas para un radio de curvatura de 30 mm a 1.625 nm.

[0027] La fibra conforme a la invención se describirá haciendo referencia a la figura 3, que muestra un perfil de configuración para una posible realización.

40 **[0028]** La fibra NZDSF conforme a la invención comprende un núcleo central con una diferencia de índice Dn_1 con respecto a un revestimiento exterior, que actúa como revestimiento óptico, y cuatro zonas de revestimiento interno entre el núcleo central y el revestimiento óptico. En este contexto, el núcleo central y las zonas de revestimiento interno se obtienen mediante deposición de tipo CVD en un tubo de silicio, y el revestimiento óptico se forma mediante el tubo y el revestimiento exterior del tubo, por lo general mediante sílice natural o dopado, pero también puede obtenerse mediante cualquier otra técnica de deposición (VAD o OVD).

45 **[0029]** Una primera zona de revestimiento está constituida por un revestimiento intermedio con una diferencia de índice Dn_2 con el revestimiento óptico, una segunda zona de revestimiento está constituida por un anillo que

presenta una diferencia de índice Dn3 con el revestimiento óptico y una tercera zona de revestimiento está constituida por un surco enterrado con una diferencia de índice Dn con el revestimiento óptico. En la Figura 3, se encuentra presente una cuarta zona de revestimiento en forma de un escalón situado entre el anillo y el surco enterrado, y que presenta una diferencia de índice Dn4 con el revestimiento óptico. Los índices de refracción del revestimiento intermedio Dn2, el anillo Dn3, el surco enterrado Dnt y el escalón Dn4 se mantienen sustancialmente constantes a lo largo de toda su anchura. El núcleo central presenta una forma escalonada, pero también puede tener forma de trapecio, de triángulo o de alfa. La anchura del núcleo se define mediante su radio r1, y los revestimientos, mediante sus respectivos radios exteriores, r2-r4; y la anchura del surco enterrado por una diferencia de radio Wtr.

10 **[0030]** Las pérdidas por efecto Rayleigh dependen, entre otros factores, del perfil de índice del núcleo Dn1, de los perfiles de índice del revestimiento interno y externo Dn2, Dn3, Dn4, y de la distribución óptica a través de la sección de la fibra dada por:

$$\frac{\int \alpha(r) \cdot \psi^2(r) r dr}{\int \psi^2(r) r dr}$$

[0031] Donde:

15 r es el radio de lo largo de la sección transversal de la fibra

$\psi(r)$ es el campo óptico;

$\alpha(r)$ es el coeficiente de Rayleigh.

20 **[0032]** La fibra conforme a la invención es una fibra NZDSF con un núcleo central que presenta un radio r1 de más de 2 μm pero menor que el de una fibra SSMF, es decir, de menos de 4.35 μm , preferiblemente inferior a 4.00 μm , y una diferencia de índice Dn1 con el revestimiento óptico superior a la de una fibra SSMF, es decir, de más de $5.0 \cdot 10^{-3}$ pero, en cualquier caso, inferior a $7.5 \cdot 10^{-3}$ para limitar la cantidad de dopantes del núcleo. Con este perfil de núcleo de la fibra, es posible reducir la dispersión cromática y, limitando la cantidad de dopante del núcleo, resulta posible controlar las pérdidas producidas por dispersión de Rayleigh.

25 **[0033]** La fibra conforme a la invención comprende un revestimiento entre el núcleo y el revestimiento óptico que comprende cuatro zonas. Una primera zona está constituida por un revestimiento intermedio que presenta un radio r2 y una diferencia de índice Dn2 con el revestimiento óptico. Este revestimiento intermedio puede encontrarse ligeramente enterrado, y tiene una diferencia de índice Dn2 con el revestimiento exterior comprendida entre $-2.5 \cdot 10^{-3}$ y $1.5 \cdot 10^{-3}$. El radio exterior r2 de este revestimiento intermedio está comprendido entre 4,5 μm y 8,5 μm . Una segunda zona está constituida por un anillo con un radio r3 y una diferencia de índice Dn3 con el revestimiento óptico. El anillo no está enterrado, a diferencia del perfil de la figura 2 y presenta una diferencia de índice Dn3 con el revestimiento óptico que oscila entre 0,0 y 5.10^{-3} . La anchura del anillo (r3-r2) oscila entre 3 μm y 7,5 μm . Una tercera zona es un surco enterrado que presenta un radio rtr, una anchura controlada Wtr y una profundidad controlada Dnt. Como se muestra en la figura 3, se añade una cuarta zona de revestimiento con un radio r4 y una diferencia de índice Dn4 con respecto al revestimiento óptico, en forma de escalón situado entre el anillo y el surco enterrado. Este escalón es más estrecho que el anillo y que el surco enterrado, y puede estar ligeramente enterrado, pudiendo tener un radio exterior r4 comprendido entre 11 μm y 14,5 μm así como una diferencia de índice con el revestimiento óptico Dn4 comprendida entre $-2.5 \cdot 10^{-3}$ y 1.10^{-3} .

30 **[0034]** Con una profundidad del surco enterrado Dnt comprendida entre $-15 \cdot 10^{-3}$ y $-5 \cdot 10^{-3}$ y una anchura del surco enterrado Wtr comprendida entre 2,5 μm y 5,5 μm , es posible limitar con eficacia las pérdidas por flexión al tiempo que se controla la frecuencia de corte, es decir, al tiempo que se limita la propagación de modos de orden superior en la fibra. De este modo, la fibra según la invención tiene una longitud de onda de corte efectiva inferior a 1.600 nm, y preferiblemente, una longitud de onda de corte efectiva inferior a 1.450 nm, lo que se ajusta a las limitaciones impuestas por las normas G.655 y G.656.

35 **[0035]** El área correspondiente al surco enterrado puede tener un radio exterior rtr limitado a 17 μm a fin de limitar los costes de fabricación.

40 **[0036]** La zona correspondiente al surco enterrado está optimizada en combinación con el revestimiento intermedio y las zonas anulares, a fin de reducir las pérdidas por dispersión de Rayleigh y limitar simultáneamente las pérdidas por flexión sin perturbar al resto de los parámetros ópticos de la fibra. La zona correspondiente al surco enterrado está lo suficientemente alejada del núcleo gracias a la presencia del revestimiento intermedio y del anillo, con un radio interior mayor o igual a 10 μm . Con esta distancia del surco con respecto al núcleo central, es posible no perturbar demasiado la propagación del modo fundamental a fin de que los valores correspondientes al área efectiva y a la dispersión se ajusten a las limitaciones impuestas por las normas G.655 y G.656. El surco es lo suficientemente profundo y estrecho como para garantizar una reducción de las pérdidas por flexión y controlar las

pérdidas de los modos de órdenes directamente superiores (LP11 y LP02) y por tanto, la longitud de onda de corte que se deriva de los mismos.

5 **[0037]** En la tabla 1 se facilitan seis ejemplos de posibles perfiles de índice para una fibra de transmisión conforme a la invención (ejemplo 3) y ocho ejemplos que no se ajustan a la invención (ejemplos 1, 2 y 4) comparándolos con una fibra SSMF estándar. La primera columna asigna una referencia a cada perfil. En las siguientes columnas se facilitan los valores de los radios de cada sección (r1-r4), así como la anchura del surco enterrado (Wtr); y en las siguientes columnas se facilitan los valores de las diferencias de índice de cada sección con el revestimiento óptico (Dn1-Dn4 y Dnt). Los valores de índice se miden a la longitud de onda de 633 nm. Las fibras de los ejemplos de la tabla 1 tienen un diámetro exterior de 125 µm. Los valores de la tabla 1 corresponden a los perfiles de configuración de las fibras.

TABLA I

Perfiles	r1 (µm)	r2 (µm)	r3 (µm)	r4 (µm)	Wtr (µm)	Dn1 (.103)	Dn2 (.103)	Dn3 (.103)	Dn4 (.103)	Dnt (.103)
SSMF	4,35					52				
1 ^a	3,26	6,00	11,65			6,9	0,0	13		
1b	2,86	7,87	10,82			7,9	0,0	2,3		
1c	2,50	4,03	8,13			8,5	0,0	25		
2 ^a	3,26	6,00	11,65	15,10		5,4	-1,5	-0,2	-1,5	
2b	3,26	6,00	11,65	13,14	2,86	5,4	-1,5	-0,2	-1,5	-6
3 ^a	3,36	5,94	9,98	11,20	4,80	5,7	-1,5	1,8	-1,5	-5,0
3b	3,73	7,19	11,56	14,11	2,89	5,7	-1,5	2,5	-1,5	-5,9
3c	3,28	7,38	11,52	12,08	3,92	6,5	-1,5	2,8	-1,5	-6,0
4 ^a	3,52	5,51	11,94		4,06	5,7	-1,5	1,5		-6,0
4b	3,12	3 7,31	11,78		4,22	6,4	-0,6	2,6		-6,0
4c	2,64	8,10	11,92		4,08	7,0	0,6	2,7		-6,0

15 **[0038]** La fibra conforme a la invención se muestra, sin que ello suponga una limitación, en los ejemplos de la tabla que antecede. Concretamente, ha de observarse que la fibra conforme a la invención tiene un núcleo central más estrecho que una SSMF, y con una mayor diferencia de índice que una SSMF. También debe hacerse hincapié en el hecho de que la fibra según la invención cuenta al menos con tres zonas de revestimiento entre el núcleo central y el revestimiento óptico, siendo una de dichas zonas un surco enterrado (Wtr, Dnt) con una anchura comprendida entre 2,5 µm y 5,5 µm y una diferencia de índice con el revestimiento óptico comprendida entre $-5 \cdot 10^{-3}$ y $-15 \cdot 10^{-3}$. La zona correspondiente al surco enterrado se encuentra relativamente alejada del núcleo central, y su radio interior es de más de 10 µm. Con esta distancia del surco con respecto al núcleo central, es posible no perturbar demasiado la propagación del modo fundamental, a fin de mantener unos valores de dispersión y superficie efectiva en línea con las limitaciones impuestas por las normas G.655 y G.656; y la anchura y profundidad del surco están optimizadas a fin de garantizar la reducción de las pérdidas por flexión y controlar las pérdidas producidas en los modos de órdenes directamente superiores (LP11 y LP02) y por tanto, la longitud de onda de corte que se deriva de los mismos.

20 **[0039]** Además, en la tabla se aprecia que el núcleo central de la fibra según la invención presenta una diferencia de índice Dn1 con el revestimiento óptico inferior a $7,5 \cdot 10^{-3}$ pero mayor que la de una SSMF, es decir, mayor de $5,0 \cdot 10^{-3}$; que la zona de revestimiento intermedio Dn2 presenta una diferencia de índice con el revestimiento óptico comprendida entre $-2,5 \cdot 10^{-3}$ y $1,5 \cdot 10^{-3}$, y que la zona anular Dn3 presenta una diferencia de índice con el revestimiento óptico comprendida entre 0,0 y $5 \cdot 10^{-3}$. También ha de señalarse que la cuarta zona de revestimiento es más estrecha y está menos enterrada que la zona de revestimiento enterrada, o no está en absoluto enterrada; esta cuarta zona de revestimiento presenta una diferencia de índice Dn4 con el revestimiento óptico comprendida entre $-2,5 \cdot 10^{-3}$ y $1 \cdot 10^{-3}$. También ha de observarse que, en la tabla I, el núcleo central de la fibra es más estrecho que una SSMF, con un radio r1 comprendido entre 2 µm y 4,0 µm.

35 **[0040]** La fibra NZDSF conforme a la invención, cuyo perfil de índice se ajusta a lo descrito anteriormente, presenta unas reducidas pérdidas por dispersión de Rayleigh y, por consiguiente, una atenuación cercana a la de

una SSMF, sin ningún aumento en las pérdidas por flexión. Además, la fibra NZDSF con un perfil de índice conforme a la invención se ajusta a los criterios establecidos en las normas G.655 y G.656, según lo definido en las recomendaciones ITU-T.

5 **[0041]** La tabla II que sigue muestra las características ópticas para las fibras 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. En las siguientes columnas se facilita, para cada perfil de fibra, los valores de dispersión cromática D y los valores de gradiente de dispersión P a la longitud de onda de 1.550 nm, así como los valores de superficie efectiva A_{eff} a la longitud de onda de 1.550 nm. Las siguientes columnas proporcionan, para cada perfil de fibra, los valores de la pérdida por dispersión de Rayleigh a una longitud de onda de 1.550 nm y los valores de las pérdidas por flexión PPC, respectivamente, para un radio de 10 mm a una longitud de onda de 1.625 nm, para un radio de 16 mm a una longitud de onda de 1.550 nm, para un radio de 25 mm a una longitud de onda de 1.550 nm y para un radio de 30 mm a una longitud de onda de 1.625 nm. La última columna aporta, para cada perfil, los valores de la longitud de onda de corte efectiva λ_{Ceff} medidos a lo largo de dos metros de fibra, de acuerdo con las normas actuales.

TABLA II

Perfil	D @1550nm (ps/nm-km)	P @1550nm (ps/nm ² -km)	Aeff @ 1550nm (μm ²)	Rayleigh @1550nm (dB/km)	PPC (10mm) @1625nm (dB/m)	PPC (16mm) @1550nm (dB/ vuelta)	PPC (25mm) @1550nm (dB/ 100 vueltas)	PPC(30mm) @1625nm (dB/ 100 vueltas)	λ_{eff} (μm)
SSMF	17	0,058	80	0,160	<100	<0,5	<0,05	<0,05	<1350
1 ^a	8	0,055	65	0,165	<100	<0,1	<0,01	<0,01	< 1400
1b	4,5	0,045	55	0,166	<100	<0,1	<0,01	<0,01	<1400
1c	4,2	0,084	70	0,166	<100	<0,1	<0,01	<0,01	<1450
2 ^a	7,7	0,050	65	0,160	>200	>1	>50	>100	<1200
2b	8,6	0,056	65	0,160	<100	>0,5	>10	>10	<1200
3 ^a	8,5	0,070	75	0,161	<100	<0,1	<0,5	<0,5	<1200
3b	8,0	0,055	75	0,163	<100	<0,05	<0,02	<0,02	<1500
3c	4,5	0,050	60	0,164	<100	<0,05	<0,05	<0,05	<1500
4 ^a	9,0	0,070	80	0,161	<100	<0,1	<0,05	<0,05	<1350
4b	5,0	0,065	70	0,162	<100	<0,1	<0,05	<0,05	<1500
4c	4,5	0,083	77	0,159	<100	<0,1	<0,05	<0,05	<1550

15 **[0042]** Los ejemplos 1a, 1b y 1c recaen fuera del ámbito de la invención; corresponden a una fibra estándar NZDSF como la mostrada en la figura 1. Los ejemplos 2a y 2b también recaen fuera del ámbito de la invención. El ejemplo 2a se muestra en la figura 2 y corresponde a la fibra del ejemplo 1, enterrada por $1,5 \cdot 10^{-3}$ con respecto al revestimiento óptico externo. El ejemplo 2b, que no aparece ilustrado, corresponde al perfil del ejemplo 2a, al que simplemente se le añadió un surco.

20 **[0043]** Debe observarse que las fibras de los ejemplos 1 presentan una atenuación superior a la de una fibra SSMF, y que las fibras de los ejemplos 2 presentan una atenuación equivalente a la de la SSMF, pero con unas mayores pérdidas por flexión.

25 **[0044]** Los ejemplos 3a, 3b y 3c se ajustan a la invención; corresponden a una fibra NZDSF como la mostrada en la figura 3, con una cuarta zona de revestimiento en forma de escalón situada entre el anillo y el surco enterrado. Los ejemplos 4a, 4b y 4c se encuentran fuera del ámbito de la invención, ya que corresponden a una fibra NZDSF como la mostrada en la figura 4, es decir, con tres zonas de revestimiento situadas entre el núcleo central y el revestimiento óptico.

30 **[0045]** Por tanto, en la tabla II puede apreciarse que las pérdidas por flexión de la fibra conforme a la invención son equivalentes a las pérdidas por flexión de una fibra SSMF, o incluso mejores. Asimismo, la fibra conforme a la invención presenta unas menores pérdidas por dispersión de Rayleigh en comparación con una fibra NZDSF estándar, pudiendo reducirse las pérdidas por dispersión de Rayleigh de la fibra conforme a la invención a las de

una fibra SSMF estándar. La atenuación de una fibra conforme a la invención, por lo tanto, se acerca a la de una fibra SSMF a la longitud de onda de 1.550 nm.

5 **[0046]** También puede observarse en la tabla II que el conjunto formado por las tres zonas de revestimiento situadas entre el núcleo central y el revestimiento óptico se encuentra optimizado en una combinación. De hecho, el ejemplo 2b muestra claramente que simplemente añadiendo un surco enterrado a un perfil de una fibra NZDSF con unas reducidas pérdidas por efecto Rayleigh no es posible reducir las pérdidas por flexión al tiempo que se mantiene la reducción de las pérdidas por dispersión de Rayleigh.

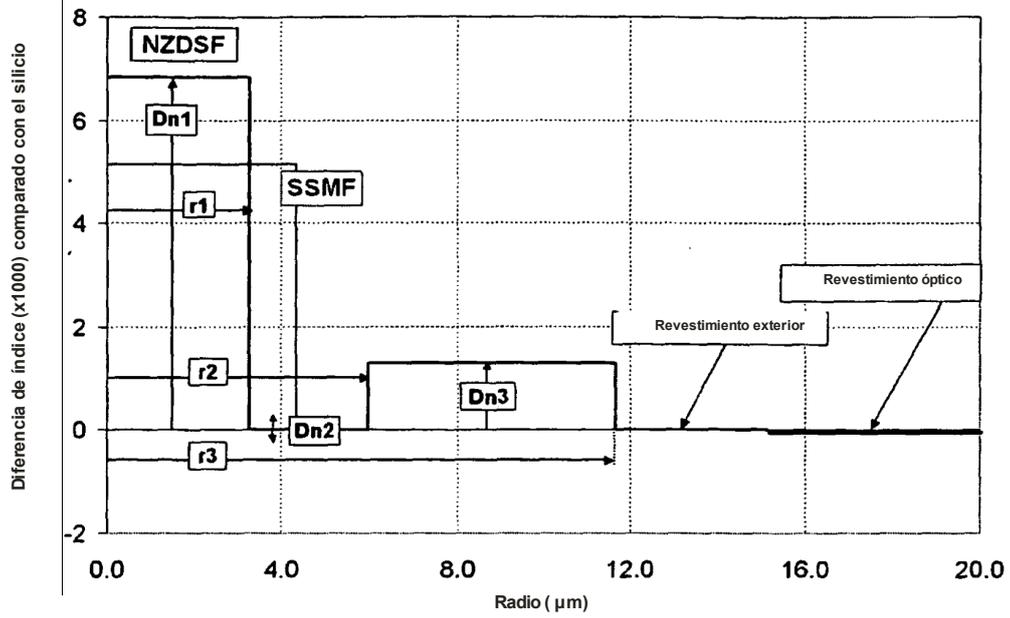
10 **[0047]** También puede observarse en la tabla II que con el perfil de la fibra conforme a la Invención es posible garantizar una dispersión cromática positiva inferior a 12 ps/nm-km con un gradiente de dispersión inferior a 0,09 ps/nm²-km, y una superficie efectiva superior a 50 μm², así como una longitud de onda de corte inferior a 1.600 nm. La fibra conforme a la invención podrá ajustarse a las recomendaciones de las normas ITU-T G.655 y G.656, que recomiendan especialmente una longitud de onda de corte del cable λ_{cc} inferior a 1.450 nm, un diámetro de modo que oscile entre 8 y 11 μm, y una dispersión cromática positiva inferior a 10 ps/nm-km a 1.550 nm. De este modo, la fibra conforme a la invención puede configurarse para numerosos sistemas de transmisión, con una buena compatibilidad con el resto de las fibras del sistema. Los valores de superficie efectiva, dispersión y corte efectivo, que se ajustan a los requisitos dictados por las normas G.655 y G.656 pueden conseguirse mediante la optimización conjunta del surco enterrado, del revestimiento intermedio y del anillo.

15

REIVINDICACIONES

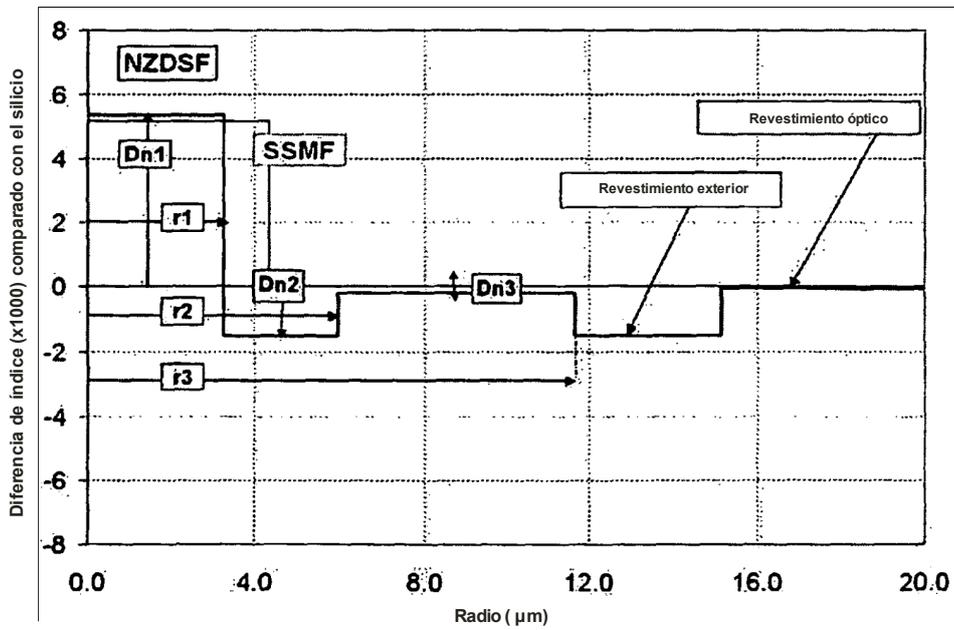
- 5 1. Fibra óptica de dispersión desplazada (NZDSF), que comprende, desde el centro hacia la periferia, un núcleo central, un revestimiento interno que consta de cuatro zonas, y un revestimiento óptico, teniendo el núcleo central un radio (r_1) y una diferencia de índice (Dn_1) con el revestimiento óptico, donde el revestimiento interno, desde el núcleo hacia el revestimiento óptico, comprende:
- Un revestimiento intermedio con un radio (r_2) y una diferencia de índice (Dn_2) con el revestimiento óptico;
- Una anillo con un radio (r_3) y una diferencia de índice (Dn_3) con el revestimiento óptico;
- 10 Un surco enterrado con un radio (r_{tr}), una anchura (W_{tr}) comprendida entre $2,5 \mu\text{m}$ y $5,5 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice (Dnt) con el revestimiento óptico comprendida entre $-5 \cdot 10^{-3}$ y $-15 \cdot 10^{-3}$, una cuarta zona de revestimiento interno situada entre la zona anular (r_3 , Dn_3) y la zona del surco enterrado (W_{tr} , Dnt), teniendo esta cuarta zona de revestimiento un radio (r_4) y una diferencia de índice (Dn_4) con el revestimiento óptico, donde $Dn_1 > Dn_2$, $Dn_3 > Dn_2$, $Dn_3 > Dn_4$, $Dn_3 > Dnt$, y $Dn_4 > Dnt$, y donde la fibra presenta unas pérdidas por dispersión de Rayleigh menores o iguales a $0,164 \text{ dB/km}$ a la longitud de onda de 1.550 nm ; unas pérdidas por flexión inferiores a $0,5 \text{ dB/vuelta}$ para un radio de curvatura de 16 mm a la longitud de onda de 1.550 nm , y unas pérdidas por flexión inferiores a $0,5 \text{ dB/100 vueltas}$ para un radio de curvatura de 30 mm a 1.625 nm .
- 15 2. Fibra conforme a la reivindicación 1, cuyo núcleo central presenta una diferencia de índice (Dn_1) con el revestimiento óptico inferior a $7,5 \cdot 10^{-3}$.
3. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la diferencia de índice de la zona de revestimiento intermedia (Dn_2) con el revestimiento óptico está comprendida entre $-2,5 \cdot 10^{-3}$ y $1,5 \cdot 10^{-3}$.
- 20 4. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la diferencia de índice de la zona anular (Dn_3) con el revestimiento óptico está comprendida entre $0,0$ y $5 \cdot 10^{-3}$. $0,0$ y $5 \cdot 10^{-3}$.
5. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la diferencia de índice del cuarto revestimiento (Dn_4) con el revestimiento óptico está comprendida entre $-2,5 \cdot 10^{-3}$ y $1 \cdot 10^{-3}$.
- 25 6. Fibra conforme a la reivindicación 5, en la que el radio (r_4) de la cuarta zona de revestimiento se encuentra comprendido entre $11 \mu\text{m}$ y $14,5 \mu\text{m}$.
7. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que el radio del núcleo (r_1) está comprendido entre $2 \mu\text{m}$ y $4,35 \mu\text{m}$.
8. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que el radio exterior de la zona de revestimiento intermedio (r_2) está comprendido entre $4,5 \mu\text{m}$ y $8,5 \mu\text{m}$.
- 30 9. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la zona anular tiene una anchura ($r_3 - r_2$) comprendida entre $3 \mu\text{m}$ y $7,5 \mu\text{m}$.
10. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que el radio interior del surco enterrado es
11. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que el radio exterior de la zona del surco enterrado (r_{tr}) es menor o igual a $17 \mu\text{m}$.
- 35 12. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que presenta una dispersión cromática inferior a 12 ps/nm-km para una longitud de onda de 1.550 nm .
13. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que presenta un gradiente de dispersión cromática menor o igual a $0,09 \text{ ps/m}^2\text{-km}$ para una longitud de onda de 1.550 nm .
- 40 14. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que presenta una longitud de onda de corte efectiva inferior a 1.600 nm .
15. Fibra conforme a cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que tiene una superficie de más de $50 \mu\text{m}^2$.

Figura 1



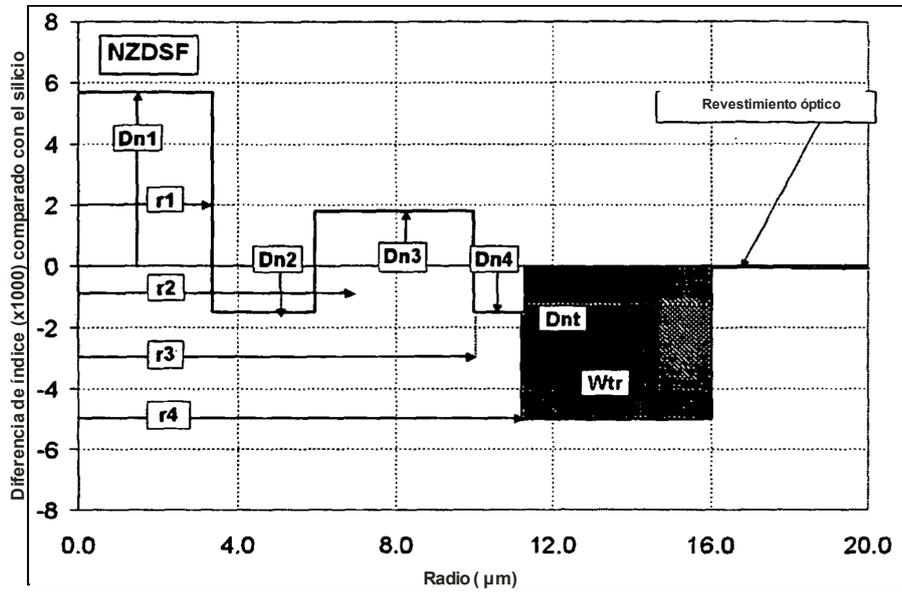
5

Figura 2

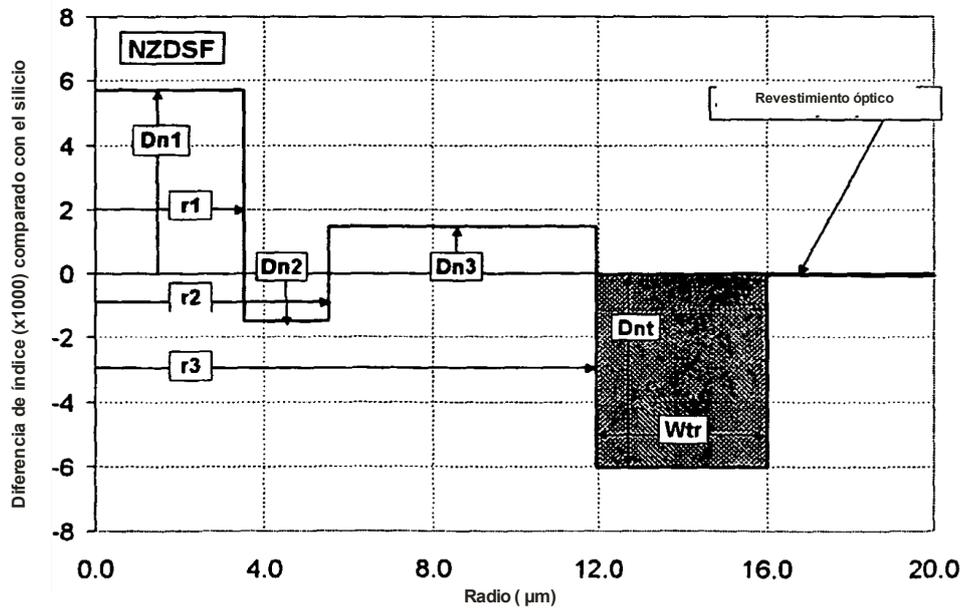


10

Figura 3



5 Figura 4



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

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.

5 Documentos de patente citado en la descripción

- US 6576164 A [0013]
- EP 1256554 A [0014]
- EP 1288685 A [0015]
- EP 1434071 A [0016]
- EP 1382981 A [0016]
- EP 1865348 A [0016]
- EP 1734390 A [0017]
- EP 1610160 A [0018]
- US 4852968 A [0020]

Bibliografía de patentes citada en la descripción

- **K. Nagayama et al.** Ultra Low Loss (0.1484 dB/km) Pure Silica Core Fiber. SEI Technical Review, January 2004 [0011]
- **M. Ohashi et al.** Optical Loss Property of Silica- Based Single Mode Fibers. Journal of Lightwave Technology, vol. 10 (5), 539-543 [0011]
- **K. Tsujikawa et al.** Rayleigh Scattering Reduction Method for Silica-Based Optical Fiber. Journal of Lightwave Technology, November 2000, vol. 18 (11), 1528-1532 [0012]