

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 369 153**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/02** (2006.01)

**G02B 6/036** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07008304 .3**

96 Fecha de presentación: **24.04.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1852721**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.11.2007**

54 Título: **FIBRA PARA COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA.**

30 Prioridad:  
**03.05.2006 FR 0603928**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**25.11.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**25.11.2011**

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

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

74 Agente: **Arpe Fernández, Manuel**

ES 2 369 153 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 para compensación de dispersión cromática.

5 **[001]** La presente invención se refiere al campo de las transmisiones por fibra óptica, y más concretamente, a la compensación de la dispersión cromática en sistemas de transmisión por fibra óptica.

10 **[002]** En las fibras ópticas, el perfil del índice de refracción suele calificarse en relación con la representación gráfica de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra. Convencionalmente, la distancia  $r$  al centro de la fibra se muestra a lo largo del eje de abscisas, y la diferencia entre el índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento exterior de la fibra se muestra a lo largo del eje de ordenadas. Por lo tanto, el perfil del índice de refracción se describe como “escalonado”, “trapezoidal” o “triangular” por los gráficos que describen, respectivamente, formas escalonadas, trapezoidales o triangulares. Por lo general, estas curvas son representativas del perfil teórico o prefijado de la fibra, y es posible que las limitaciones inducidas durante la fabricación de la fibra produzcan un perfil sustancialmente diferente.

15 **[003]** Convencionalmente, una fibra óptica consta de un núcleo óptico cuya función consiste en transmitir, y opcionalmente amplificar, una señal óptica, de un revestimiento óptico cuya función consiste en confinar la señal óptica en el interior del núcleo, y de un revestimiento exterior con un índice de refracción  $n_g$  sustancialmente constante. A estos efectos, los índices de refracción del núcleo  $n_c$  y del revestimiento exterior  $n_g$  son tales que  $n_c > n_g$ . Como es perfectamente sabido, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica de modo único se descompone en un modo fundamental guiado en el núcleo y unos modos secundarios guiados a lo largo de una cierta distancia por el conjunto del revestimiento del núcleo, denominados modos de revestimiento.

20 **[004]** En las nuevas redes de transmisión multiplexadas en longitud de onda y con una elevada tasa de transferencia, resulta ventajoso controlar la dispersión cromática, especialmente en el caso de las tasas de transferencia de 10 GBits/s o más elevadas. El objetivo, para todos los valores de longitud de onda de multiplexado, consiste en conseguir una dispersión cromática acumulada que sea sustancialmente cero en el enlace, a fin de limitar el ensanchamiento del impulso. “Dispersión cromática acumulada” es la denominación aplicada a la integral de la dispersión cromática a lo largo de la longitud de la fibra. Cuando la dispersión cromática es constante, la dispersión cromática acumulada es equivalente al producto de la dispersión cromática multiplicada por la longitud de la fibra óptica. Un valor acumulado de la dispersión de unas docenas de ps/nm suele considerarse en general aceptable. También resulta ventajoso, en valores cercanos a las longitudes de onda utilizadas en el sistema, evitar valores cero de la dispersión cromática local para los cuales los efectos no lineales resultan más notables. Por último, también resulta ventajoso limitar el gradiente de dispersión cromática acumulada a lo largo del rango de multiplexado para evitar o limitar las distorsiones producidas entre los canales multiplexores. Convencionalmente, este gradiente es la derivada de la dispersión cromática con respecto a la longitud de onda.

35 **[005]** En el caso de los sistemas de transmisión terrestres se utilizan convencionalmente como fibra de línea las fibras de modo único (SMF) o fibras de dispersión desplazada distinta de cero (NZDSF). Las fibras NZDSF\* son fibras de dispersión desplazada que tienen una dispersión cromática positiva distinta de cero para las longitudes de onda a las cuales se utilizan, que normalmente oscilan en torno a 1550 nm. Para estas longitudes de onda, estas fibras tienen una baja dispersión cromática, que normalmente suele ser inferior a 10 ps/(nm.km) a 1550 nm, y un gradiente de dispersión cromática que suele ser inferior a 0,1 ps/(nm<sup>2</sup>.km).

40 **[006]** Para compensar la dispersión cromática y el gradiente de dispersión cromática en las fibras SMF o NZDSF\* utilizadas como fibras de línea, pueden utilizarse segmentos de corta longitud de fibra de compensación de dispersión (DCF); esta fibra presenta una dispersión cromática negativa y un gradiente de dispersión cromática negativo. Para la elección de la fibra DCF, lo que suele buscarse es que la proporción entre la dispersión cromática y el gradiente de dispersión cromática de la fibra para compensación de dispersión cromática sea sustancialmente igual a la de la fibra de línea. Esta proporción se designa mediante la abreviatura DOS, acrónimo de relación dispersión/gradiente.

55 **[007]** En los documentos US-A-5568583 o US-A-5361319 se describen fibras DCF para la compensación de la dispersión cromática de las fibras SMF, y en el documento EP A 1067412 se describe una fibra DCF para la compensación de la dispersión cromática de las fibras NZDSF+. Estas fibras DCF ya conocidas, para una longitud de onda de 1550 nm, presentan una dispersión cromática negativa y un gradiente de dispersión cromática negativo.

60 **[008]** Los sistemas ópticos multiplexados en longitud de onda, denominados multiplexado por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing, WDM), suelen consistir en una concatenación de secciones de fibra de línea - SMF, NZDSF+ o de otro tipo - con unos módulos de compensación de dispersión que se insertan entre las secciones de fibra de línea y que comprenden secciones DCF devanadas. La forma en la que los módulos de

compensación de la dispersión se distribuyen a lo largo de la línea de transmisión se denomina gestión de la dispersión; el objetivo de esta gestión consiste en limitar tanto los efectos no lineales, tales como la dispersión acumulada en el extremo de la línea. En el extremo de la línea siempre se trata de conseguir una baja dispersión cromática acumulada y un gradiente de dispersión cromática acumulada cero.

**[009]** En este contexto, el término "sección de la línea de transmisión" se refiere a un componente del sistema de transmisión óptica que enlaza un elemento transmisor con un elemento receptor, estando posiblemente dichos elementos situados en el extremo de la línea o en los nodos del sistema óptico. Por lo tanto, una sección de línea comprende una o más secciones de fibra de línea concatenadas y una o más secciones de fibra de compensación de la dispersión distribuidas entre las secciones de la fibra de línea. Las secciones de la fibra de línea suelen generar una dispersión cromática positiva con un gradiente de dispersión cromática negativo. En el caso de que se produzca una sobrecompensación, la sección de línea presentará, por lo tanto, una dispersión cromática acumulada negativa con un gradiente de dispersión cromática acumulada negativo, lo cual deberá compensarse para conseguir una dispersión cero en el nodo de entrada o en el extremo de la línea.

**[0010]** En ocasiones resulta ventajoso insertar una sobrecompensación a lo largo de la línea de transmisión, por ejemplo, para limitar los efectos no lineales en la fibra de línea. También se ha observado que la sobrecompensación de la dispersión cromática reduce la tasa de error en los receptores. Por ejemplo, el artículo "Investigation of Advanced Dispersion Management Techniques for Ultra-Long Haul Transmissions" de J.-C Antona, M. Lefrançois, S. Bigo y G. Le Meur, que se presentó en septiembre de 2005 a la Conferencia ECOC'05 (European Conference for Optical Communications) indica que la sobrecompensación producida durante la transmisión, que en el artículo se ilustra mediante una dispersión residual por subdivisión o por sección de fibra de línea negativa, permite mejorar el rendimiento de los sistemas WDM a 10 Gb/s. No obstante, en el extremo de la línea y/o en cada uno de los nodos del sistema de transmisión, la dispersión cromática acumulada debe restaurarse a cero o a un valor ligeramente positivo. No obstante, si la señal óptica está sobrecompensada, en el extremo de la línea, la dispersión cromática y el gradiente de dispersión cromática serán negativos; será entonces necesario, para poder equilibrar esta sobrecompensación, utilizar un elemento de fibra que tenga una dispersión cromática positiva y un gradiente de dispersión cromática positivo. A estos efectos, suelen utilizarse con frecuencia secciones de fibra estándar SMF (SSMF) o fibras de núcleo de sílice puro (PSCF).

**[0011]** El principal inconveniente que se presenta al utilizar una sección de SSMF para equilibrar la sobrecompensación es que la SSMF induce unas elevadas pérdidas con respecto a la cantidad de dispersión producida. Generalmente, esta característica viene determinada por lo que se denomina "Figure of Merit" (Factor de Calidad, FOM). El factor de calidad se define como la relación entre la dispersión cromática  $D$ , expresada como valor absoluto, y la atenuación de la señal expresada en dB/km. En el caso de una SSMF, el valor FOM oscila en torno a 85 ps/nm/dB. Las PSCFs inducen unas pérdidas ópticas menores, y tienen un valor FOM que oscila en torno a 125 ps/nm/dB, pero resultan costosas.

**[0012]** Además, las fibras de dispersión desplazada negativa no-cero, también denominadas NZDSF-, se utilizan como fibra submarina para los enlaces ópticos intercontinentales. Las fibras clasificadas como NZDSF- son fibras de dispersión desplazada con una dispersión cromática negativa distinta de cero para las longitudes de onda a las cuales se utilizan, y que suele oscilar en torno a 1550 nm. Para estas longitudes de onda, estas fibras presentan una baja dispersión cromática, normalmente inferior a  $-2$  ps/(nm.km) a 1550 nm, y un gradiente de dispersión cromática que suele ser inferior a  $0,1$  ps/(nm<sup>2</sup>.km).

**[0013]** Para compensar la dispersión cromática y el gradiente de dispersión cromática en las fibras NZDSF- utilizadas como líneas submarinas, deben utilizarse fibras de compensación de dispersión positiva (P-DCF). Hasta el momento presente, en los sistemas de transmisión comercializados e instalados bajo el mar, se utilizaban porciones de fibras SSMFs para compensar la dispersión negativa de las fibras NZDSF-, tanto en la línea (P-DCF cableada), como en el transmisor o en el receptor (P-DCF de módulo). No obstante, como se ha indicado anteriormente, las fibras SSMFs presentan un valor FOM que es demasiado bajo para utilizarse como módulo. También pueden utilizarse fibras PSCF, pero resultan costosas.

**[0014]** El documento US-A-6337942 propone una fibra de compensación de dispersión cromática positiva para compensar una fibra NZDSF. Esta fibra óptica presenta una estructura con un revestimiento deprimido situado adyacente al núcleo central, y un revestimiento óptico exterior. El núcleo central puede doparse con Germanio o Sílice puro. La fibra que se describe en el documento US-A-6337942 presenta una elevada dispersión cromática positiva, que oscila entre 18 ps/nm/km y 21 ps/nm/km para unas pérdidas de transmisión del orden de 0,2 dB/km, lo que implica un valor FOM de 105 ps/nm/dB o inferior. La presencia de un revestimiento deprimido situado adyacentemente al núcleo central, con una elevada diferencia de índice de refracción permite aumentar la dispersión cromática, reduciendo al mismo tiempo el aumento en la longitud de onda de corte, pero también tiene el efecto de aumentar las pérdidas en la transmisión. Para limitar estas pérdidas, el documento US-A-6337942 también propone aumentar el diámetro del revestimiento deprimido, que oscila entre 36  $\mu$ m y 46  $\mu$ m, para un

núcleo central cuyo diámetro oscila entre 9  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ . No obstante, dicho revestimiento deprimido, dopado con flúor, resulta costoso de fabricar.

**[0015]** El documento US-A-6665482 describe una fibra para transmisión que presenta una estructura de pedestal con un núcleo central, un primer revestimiento interior positivo y un revestimiento óptico exterior. Esta fibra presenta una superficie efectiva de más de 90  $\mu\text{m}^2$  para una longitud de onda de 1550 nm, lo que permite reducir los efectos no lineales, y por tanto, aumentar los márgenes operativos de las redes de transmisión multiplexadas en longitud de onda y con una elevada tasa de transferencia. El aumento de la superficie efectiva de la fibra también supone un aumento de la dispersión cromática positiva en comparación con una fibra SSMF, pero se ha limitado intencionadamente a 20 ps/nm/km para evitar las penalizaciones de la red causadas por unos elevados valores de dispersión acumulada (con anterioridad a la compensación). Las pérdidas de transmisión, que son del orden de 0,2 dB/km implican un valor FOM de 100 ps/nm/dB o inferior.

**[0016]** El documento EP 1255138 describe una fibra óptica de dispersión positiva con una gran superficie efectiva, presentando dicha fibra una región del núcleo dopada, una primera región anular, una segunda región anular deprimida, y un área de revestimiento. La segunda región anular deprimida presenta una diferencia normalizada de índices que oscila entre -0,08 y -0,20  $\Delta\%$ , y una diferencia absoluta de índices situada entre -1,16 y  $-2,9 \cdot 10^{-3}$  cuando se calcula con respecto al índice del silicio.

**[0017]** El documento US-A-6685190 describe una fibra que presenta una superficie efectiva de más de 110  $\mu\text{m}^2$  para una longitud de onda de 1550 nm, lo que permite reducir los efectos no lineales, y por tanto, aumentar los márgenes operativos de las redes de transmisión multiplexadas en longitud de onda con una elevada tasa de transferencia. Este aumento de la superficie efectiva de la fibra también conlleva un aumento de la dispersión cromática positiva, con una dispersión que oscila entre 18 ps/nm/km y 23 ps/nm/km para unas pérdidas de transmisión del orden de 0,17 dB/km, lo que conlleva un valor FOM que oscila entre 105 ps/nm/dB y 135 ps/nm/dB.

**[0018]** A pesar de los valores más elevados de la dispersión cromática positiva y de la mejora en los valores FOM en comparación con las fibras SSMF, las fibras que se describen en el documento US-A-6658190 no se encuentran bien adaptadas para compensar la dispersión cromática negativa de una fibra submarina NZDSF, ni para equilibrar la sobrecompensación en un nodo de un sistema terrestre de comunicaciones. De hecho, un aumento de la superficie conlleva un aumento de las pérdidas por flexión y micro-flexión. Sin embargo, se pretende que la fibra DCF se encuentre enrollada en una carcasa con un módulo de compensación de dispersión óptica en el que las porciones de fibra se encuentran superpuestas; por lo tanto, la fibra debe tener unas pérdidas por flexión y micro-flexión limitadas para unos revestimientos y diámetros estándar (a saber, un diámetro de fibra desnuda de alrededor de 125  $\mu\text{m}$ , un diámetro de fibra con un primer revestimiento de alrededor de 200  $\mu\text{m}$  y un diámetro de fibra con un segundo revestimiento de aproximadamente 250  $\mu\text{m}$ ).

**[0019]** Ninguno de los perfiles de las fibras pertenecientes a la técnica anterior que se han citado y analizado en los párrafos precedentes posibilita la obtención de un compromiso óptimo entre un aumento del valor FOM y unas características aceptables en términos de pérdidas por flexión y micro-flexión para una fibra de compensación de la dispersión cromática positiva (P-DCF).

**[0020]** Por lo tanto, es necesario disponer de una fibra de compensación de la dispersión cromática positiva con el que sea posible compensar la dispersión cromática de una fibra de transmisión de dispersión cromática negativa – por ejemplo, una fibra para enlaces submarinos – o con la que sea posible equilibrar la sobrecompensación en el extremo de la línea o en la entrada al nodo en un sistema óptico, y que cuente con un valor FOM más elevado y unas limitadas pérdidas por flexión y micro-flexión.

**[0021]** Para conseguir este objetivo, la invención propone una estructura de fibra con un revestimiento interno deprimido – a fin de garantizar una elevada dispersión cromática positiva y unas bajas pérdidas por flexión y micro-flexión – que se encuentre separado del núcleo central, a fin de limitar las pérdidas por transmisión. La fibra de la invención puede utilizarse en un módulo para compensación de la dispersión cromática que tenga un tamaño reducido, para conseguir una mayor eficacia en la compensación de la dispersión cromática y unas reducidas pérdidas por inserción.

**[0022]** Más concretamente, la invención propone una fibra óptica de compensación de la dispersión cromática, que comprende:

Un núcleo central que presente un radio  $r_1$  y una diferencia de índice de refracción  $Dn_1$  con el revestimiento óptico exterior;

Un revestimiento intermedio con un radio  $r_2$  y una diferencia de índice de refracción  $Dn_2$  con el revestimiento óptico exterior, teniendo el revestimiento intermedio una anchura ( $r_2 - r_1$ ) de 2,0  $\mu\text{m}$  o superior; y preferiblemente, de entre 2,0  $\mu\text{m}$  y 4,5  $\mu\text{m}$ ;

Un revestimiento deprimido interior, con un radio  $r_3$  y una diferencia de índice de refracción  $Dn_3$  con el revestimiento óptico exterior de  $-3,0 \cdot 10^{-3}$  o inferior;

La fibra, para una longitud de onda de 1550 nm, presenta:

Una dispersión cromática positiva de 21 ps/nm/km o superior, y

Una relación entre el radio de modo y el radio del revestimiento intermedio de 0,7 o inferior.

**[0023]** Radio de modo significa el radio del modo fundamental LP01 que se propaga por la fibra, denominado  $W_{02}$  y determinado mediante la segunda definición de Petermann.

**[0024]** De acuerdo con las realizaciones, la fibra de la invención también puede tener una o más de las siguientes características:

Para una longitud de onda de 1550 nm, la fibra tiene un valor de factor de calidad (FOM) de 105 ps/nm/dB o superior; el núcleo central tiene un radio  $r_1$  que oscila entre  $4 \mu\text{m}$  and  $6,50 \mu\text{m}$  para una diferencia de índice de refracción  $Dn_1$  con un revestimiento óptico externo de entre  $4,0 \cdot 10^{-3}$  y  $6,5 \cdot 10^{-3}$ ;

el revestimiento deprimido tiene un radio  $r_3$  de  $16 \mu\text{m}$  o inferior, y preferiblemente de entre  $12 \mu\text{m}$  y  $16 \mu\text{m}$ ;

el revestimiento intermedio tiene un radio  $r_2$  que oscila entre  $6 \mu\text{m}$  y  $11 \mu\text{m}$  y una diferencia de índice de refracción  $Dn_2$  con el revestimiento óptico externo variable entre  $-1,0$  y  $2,0 \cdot 10^{-3}$ ;

para una longitud de onda de 1625 nm, la fibra presenta pérdidas por flexión, a lo largo de un radio de 10 mm, de 1 dB/m o inferior;

para una longitud de onda de 1550 nm, la fibra presenta unas pérdidas por micro-flexión hasta 0,8 veces inferiores a las pérdidas por micro-flexión de una fibra SSMF sometida a las mismas tensiones; las pérdidas por micro-flexión de una fibra SSMF se encuentran en torno a 1 dB para el método de prueba denominado "método del tambor de diámetro fijo" ("méthode du touret" en francés). Este método se describe en las recomendaciones técnicas del subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional bajo la referencia CEI TR.

En el modo de propagación fundamental a 1550 nm, la fibra presenta una superficie efectiva ( $A_{\text{eff}}$ ) de  $80 \mu\text{m}^2$  o superior;

La fibra presenta una longitud de onda de corte efectiva ( $\lambda_{\text{Ceff}}$ ) de 1600 nm o inferior;

Para una longitud de onda de 1550 nm la fibra tiene menos del 1,3% de energía en el revestimiento deprimido.

**[0025]** La invención también se refiere a un módulo para compensación de la dispersión cromática que contiene al menos una porción de la fibra de la invención.

**[0026]** Dependiendo de las realizaciones, el módulo de la invención también puede comprender una o más de las siguientes características:

Para una longitud de onda de 1550 nm, el módulo muestra unas pérdidas por inserción de 12,5 dB o inferiores para una dispersión acumulada de 1338 ps/nm; el valor de 1338 ps/nm corresponde a la dispersión acumulada estándar de -80 km de la fibra monomodo estándar, que es de  $16,7 \text{ ps/nm-km}$  multiplicado por 80 km, lo que arroja un resultado de  $-1338 \text{ ps/nm}$ .

Para una longitud de onda de entre 1530 nm y 1570 nm, el módulo muestra unas pérdidas por inserción de 13 dB o inferiores para una dispersión acumulada de 1338 ps/nm;

Para una longitud de onda de 1550 nm, el módulo muestra una dispersión de modo de polarización de 0,50 ps o inferior;

Una carcasa, en la que se enrolla la porción de fibra, teniendo dicha carcasa un espesor que es al menos un 25% inferior al espesor de una carcasa en la que se aloja una fibra SSMF para un idéntico valor de dispersión acumulada. Esto significa que dado que se requiere una menor longitud de fibra y se consigue una menor sensibilidad a la flexión, puede reducirse significativamente el espesor de la carcasa. Se toman como referencia las dimensiones de la carcasa de una fibra SSMF.

**[0027]** Se apreciarán otras características y ventajas de la presente invención mediante la lectura de la siguiente descripción, consistente en realizaciones de la invención, facilitadas a modo de ejemplo, y haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

La figura 1 es un gráfico esquemático de un perfil dado para una fibra de compensación de la dispersión de acuerdo con una realización de la invención;

La figura 2 es un gráfico que muestra dos ejemplos de perfiles de la fibra de la invención y del porcentaje de energía del modo fundamental LP01 que se propaga más allá del radio  $r$  a 1550 nm en estas fibras, lo que significa que si a un determinado radio  $r$  la energía es, por ejemplo, un 10%, esto significa que en el exterior de la parte de la fibra que posee un radio de  $r$ , se propaga el 10% de la energía.

La figura 3 es un gráfico que muestra el valor de la dispersión cromática positiva respecto de la diferencia de índice de refracción del revestimiento deprimido con el revestimiento exterior.

**[0028]** Para compensar la dispersión cromática negativa o para eliminar una sobrecompensación, la invención propone la utilización de una fibra óptica para compensación de dispersión cromática con un perfil específico de índice de refracción con un núcleo central, un revestimiento intermedio y un revestimiento deprimido interno, lo que

permite, para una longitud de onda de 1550 nm conseguir una dispersión cromática de 21 ps/nm/km o superior, con un valor FOM de 105 ps/nm/dB o superior.

5 **[0029]** Mediante la presencia del revestimiento interior deprimido resulta posible conseguir dicho valor de dispersión cromática con reducidas pérdidas por flexión y micro-flexión, y la separación entre este revestimiento deprimido y el núcleo central, hace posible limitar las pérdidas de transmisión. El radio  $r_3$  de este revestimiento deprimido es preferiblemente inferior a 16  $\mu\text{m}$  a fin de limitar los costes de fabricación relacionados con la deposición de una sección demasiado grande de sílice dopado, que se haya dopado, por ejemplo, mediante flúor.

10 **[0030]** La figura 1 muestra esquemáticamente un posible perfil de índice de refracción para una fibra de compensación de la dispersión según la invención. El perfil que se muestra es un perfil prefijado, es decir, que representa el perfil teórico de la fibra, mientras que es posible que la fibra realmente obtenida tras el estiramiento de una preforma tenga un perfil ligeramente superior.

15 **[0031]** La fibra para compensación de dispersión cromática según la invención tiene un núcleo central con un radio  $r_1$  que presenta una diferencia de índices de refracción positiva  $Dn_1$  con un revestimiento óptico externo; un revestimiento intermedio con un radio  $r_2$  presenta una baja diferencia positiva de índices de refracción  $Dn_2$  con el revestimiento externo, y un revestimiento interior deprimido con un radio  $r_3$  presenta una diferencia negativa de índice de refracción  $Dn_3$  con el revestimiento externo. El índice de refracción del revestimiento externo se denomina  $n_g$  y se muestra en la figura 1 en el eje de abscisas o eje X.

20

**[0032]** En la tabla I que figura a continuación se muestran las características de una serie de posibles perfiles de índice de refracción para una fibra de compensación de la dispersión cromática según la invención. La primera columna asigna una referencia a cada ejemplo; en las columnas siguientes se facilitan los valores del radio del núcleo central  $r_1$ , del revestimiento intermedio  $r_2$ , la anchura del revestimiento intermedio ( $r_2-r_1$ ) y el radio del revestimiento deprimido  $r_3$ , indicándose en las columnas siguientes los valores de las diferencias del índice de refracción con el revestimiento externo ( $n_g$ ) correspondientes a cada sección. Las diferencias en el índice de refracción se miden para una longitud de onda de 633 nm.

25

30 **[0033]** Los ejemplos 1 a 7 se han realizado de acuerdo con la invención, y los ejemplos 1b, 2b y SMF1 SMF2 son ejemplos comparativos no acordes con la invención. SMF 1 corresponde a una fibra SSMF. Los ejemplos 1b, SMF1 y SMF2 no tienen un revestimiento interno deprimido, y el ejemplo 2b tiene un revestimiento interno que es demasiado estrecho, lo que provoca unas pérdidas muy elevadas y un reducido valor FOM.

Tabla I

Perfil	r1 ( $\mu\text{m}$ )	r2 ( $\mu\text{m}$ )	r2 - r1 ( $\mu\text{m}$ )	r3 ( $\mu\text{m}$ )	Dn1 @633nm ( $\times 10^3$ )	Dn2 @633nm ( $\times 10^3$ )	Dn3 @633nm ( $\times 10^3$ )
Ex. 1	5,10	7,50	2,40	15,0	5,1	0	-5,0
Ex. 1b	5,10				5,1		
Ex. 2	5,69	7,95	2,26	15,0	4,8	0,5	-5,0
Ex. 2b	5,69	7,43	1,74	15,0	4,8	0,5	-5,0
Ex. 3	5,40	8,50	3,10	15,0	5,0	0,2	-5,0
Ex. 4	4,59	7,50	2,91	15,0	5,5	2,0	-5,0
Ex. 5	6,30	8,38	2,08	14,7	4,3	1,0	-6,0
SMF1 (SSMF)	4,35				5,2		
Ex. 6	4,55	7,35	2,80	14,0	5,2	0	-5,0
SMF2	5,70				4,4		
Ex. 7	5,70	8,10	2,40	15,0	4,4	0	-5,0

5 **[0034]** La fibra de compensación de la dispersión cromática según la invención presenta un revestimiento  
deprimido que se encuentra separado del núcleo central, lo que le permite conseguir unos elevados valores de  
dispersión cromática positiva con un valor FOM elevado. El núcleo central tiene un radio  $r_1$  y una diferencia de  
índice de refracción  $Dn_1$  cercana a la de una fibra SSMF, por lo que la fibra, para una superficie efectiva de más de  
80  $\mu\text{m}^2$ , mantiene una propagación monomodo de la señal óptica. La presencia del revestimiento deprimido  $Dn_3$   
10 permite incrementar la dispersión cromática inducida por la fibra de compensación de la dispersión de acuerdo con  
la invención, al mismo tiempo que garantiza unas bajas pérdidas por flexión y micro-flexión, y la presencia de un  
revestimiento intermedio relativamente ancho ( $r_2 - r_1$ ) entre el núcleo central y el revestimiento deprimido permite  
reducir las pérdidas lineales de la fibra. Cuando la anchura del revestimiento intermedio ( $r_2 - r_1$ ) es de 2  $\mu\text{m}$  o  
superior, el campo de la señal óptica se introduce escasamente en el revestimiento deprimido, como se muestra  
15 en la figura 2, que se comenta a continuación.

**[0035]** La tabla II muestra seguidamente las características ópticas de las fibras de compensación de la dispersión  
que corresponden a los ejemplos de perfiles de índices de refracción facilitados en la tabla I. La primera columna  
reproduce las referencias de la primera columna de la tabla I. Las siguientes columnas, para cada perfil de fibra,  
ofrecen los valores simulados de la longitud de onda de corte efectiva  $\lambda C_{\text{eff}}$ , de la dispersión cromática  $D$ , de la  
20 proporción entre la dispersión cromática y el gradiente de dispersión cromática (DOS), el factor de calidad (FOM),  
las pérdidas por flexión  $BL_{10\text{mm}}$ , las pérdidas por micro-flexión  $S_{\mu\text{c}}$ , la superficie efectiva  $A_{\text{eff}}$ , el porcentaje de  
energía presente en el revestimiento deprimido denominado Energy3, y la relación entre el radio del modo  
normalizado (que equivale al radio del modo fundamental LP01 que se propaga a través de fibra, denominado  $W_{02}$   
y determinado por la segunda definición de Petermann) y el radio del revestimiento intermedio ( $r_2$ ), denominándose  
25 a dicho radio  $W_{02}/r_2$ .

**[0036]** Los valores de la dispersión cromática  $D$ , DOS, FOM, la superficie efectiva  $A_{\text{eff}}$ , la energía "Energia3" y el  
radio del modo  $W_{02}$  se dan para una longitud de onda de 1550 nm. La Longitud de onda de corte  $\lambda C_{\text{eff}}$  corresponde  
a la longitud de onda a la cual, y tras la cual, la señal óptica pasa a ser monomodo tras propagarse a lo largo de  
30 dos metros de fibra, de acuerdo con lo definido por el subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional  
en la norma CEI 60793-1-44. Los valores de las pérdidas por flexión  $BL_{10\text{mm}}$  se ofrecen para una longitud de onda  
de 1625 nm para un radio de curvatura de la fibra de 10 mm. Los valores de las pérdidas por micro-flexión  $S_{\mu\text{c}}$  son  
relativos y se expresan con respecto a las pérdidas producidas en una fibra SSMF sujeta a las mismas  
limitaciones, es decir, para una fibra con un diámetro de 125  $\mu\text{m}$ . Las pérdidas por micro-flexión pueden medirse,  
35 por ejemplo, utilizando el método denominado de tambor de diámetro fijo ("méthode du touret" en francés). Este  
método se describe en las recomendaciones del sub-comité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional bajo  
la referencia CEI TR-62221.

Tabla II

Características	$\lambda_{C_{eff}}$ (nm)	D@1550 nm (ps/nm-km)	DOS @1550 (nm)	FOM @1550nm (ps/nm-dB)	BL <sub>10mm</sub> @1625nm (dB/m)	S $\mu$ c @1550nm	A <sub>eff</sub> @1550nm ( $\mu$ m <sup>2</sup> )	Energía3 @1550 (%)	W <sub>02</sub> /r <sub>2</sub> 1550 nm
Ex. 1	<1500	22,2	350	>110	<1	0,5	85	1,09	0,68
Ex. 1b	1500	19,5	330	<100	-10	0,5	95		
Ex. 2	<1550	22,8	355	>115	<1	0,5	102	1,11	0,69
Ex. 2b	-1550	23,0	360	<105	<1	0,5	98	1,61	0,72
Ex. 3	<1550	22,1	350	>110	<1	0,5	95	0,58	0,63
Ex. 4	<1550	22,0	340	>110	<1	0,3	90	1,28	0,69
Ex. 5	<1600	23,2	360	>115	<1	0,8	120	1,09	0,69
SMF 1	<1300	16,8	290	<90	>10	1	82		
Ex. 6	<1350	21,4	340	>105	<1	0,7	77	1,12	0,66
SMF 2	>1550	20,3	333	<105	>10	1	115		
Ex. 7	<1550	22,8	355	>115	<1	0,8	111	1,25	0,70

5 [0037] En la tabla II se puede observar que para todos los perfiles de la fibra de compensación de la dispersión según la invención, la dispersión cromática a 1550 nm se superior a 21 ps/nm/km y el valor FOM es superior a 105 ps/nm/dB, e incluso superior a 110 ps/nm/dB. También puede observarse que para todos los perfiles de la invención, las pérdidas por flexión a lo largo de un radio de curvatura de 10 mm a la longitud de onda de 1625 nm son muy reducidas, inferiores a 1dB/m, y que las pérdidas por micro-flexión son significativamente inferiores a las pérdidas producidas en una fibra SSMF.

10 [0038] La figura 2 muestra los perfiles de los ejemplos 1 y 5 de la fibra según la invención, así como el porcentaje de energía del modo fundamental LP01 que se propaga más allá del radio r a 1550 nm en la fibra utilizada en estos dos ejemplos. Se observa que se propaga muy poca energía en el revestimiento deprimido y más allá de éste. La dispersión cromática de la fibra, por tanto, aumenta sin pérdidas adicionales, y la fibra mantiene su carácter monomodo para las longitudes de onda utilizadas. Concretamente, la proporción entre el radio del modo fundamental LP01 que se propaga a través de la fibra, que se denomina W<sub>02</sub> y se determina mediante la segunda definición de Petermann, y el radio del revestimiento intermedio r<sub>2</sub> es inferior a 0,7. Esta proporción controlada garantiza que las pérdidas lineales de la fibra son limitadas, y permite conseguir unos elevados valores FOM para la fibra de compensación de la dispersión según la invención.

20 [0039] Asimismo, puede apreciarse en la tabla II que el porcentaje de energía del revestimiento deprimido, al que se denomina Energía3, es limitado e inferior a un 1,3%. Por lo tanto, la fibra según la invención presenta una limitada longitud de onda de corte efectiva  $\lambda_{C_{eff}}$  inferior a 1600 nm e incluso inferior a 1550 nm. El revestimiento deprimido, que tan sólo contiene muy poca energía de la señal que se propaga a través de la fibra, también permite una adecuada protección contra las pérdidas por flexión y micro-flexión. Concretamente, la fibra de compensación de la dispersión según la invención, para una longitud de onda de 1625 nm, muestra pérdidas por flexión a lo largo de un radio de curvatura de 10 mm (BL<sub>10mm</sub>) de 10 dB/m o inferior, así como pérdidas por micro-flexión que son marcadamente inferiores a las de una fibra SSMF.

30 [0040] La fibra según la invención que se indica en el ejemplo 6 puede obtenerse a partir de una fibra SSMF (SMF1) aumentando ligeramente el radio del núcleo r<sub>1</sub> hasta 4,55  $\mu$ m, y añadiendo una sección deprimida en  $-5 \cdot 10^{-3}$  de forma que (r<sub>2</sub> - r<sub>1</sub>) = 2,8  $\mu$ m y r<sub>3</sub> = 14  $\mu$ m. Se obtiene entonces una proporción W<sub>02</sub>/r<sub>2</sub> = 0,66 con un 1,12% de energía presente en el revestimiento deprimido. Todo esto tiene como resultado un notable aumento de la dispersión cromática en 21,4 ps/nm-km, así como una importante reducción de las pérdidas por flexión (BL<sub>10mm</sub>  $\leq$  1dB/m @1625 nm) y una sensibilidad a las pérdidas por micro-flexión que es 0,7 veces menor, en comparación con una fibra SSMF.

40 [0041] La fibra según la invención que se muestra en el ejemplo 7 puede obtenerse a partir de una fibra SMF que tenga una gran superficie efectiva (SMF2) añadiendo una sección deprimida con una diferencia de índice de refracción, comparado con el revestimiento exterior, de  $-5 \cdot 10^{-3}$  y con un radio tal que (r<sub>2</sub> - r<sub>1</sub>) = 2,4  $\mu$ m y r<sub>3</sub> = 15,0  $\mu$ m. Se obtiene entonces una proporción W<sub>02</sub>/r<sub>2</sub> = 0,70 con un 1,15% de energía presente en el revestimiento deprimido. Todo esto tiene como resultado una menor longitud de onda de corte efectiva  $\lambda_{C_{eff}}$ , un claro aumento de

la dispersión cromática a 22,8 ps/nm-km, una notable reducción en las pérdidas por flexión ( $BL_{10mm} \leq 1\text{dB/m}$  @1625 nm) y una sensibilidad a las pérdidas por micro-flexión que es 0,8 veces menor que en el caso de una fibra SSMF.

5 [0042] El gráfico de la figura 3 muestra más adecuadamente el impacto del revestimiento deprimido sobre las características ópticas de la fibra de compensación de la dispersión. La figura 3 es un gráfico que muestra el valor de la dispersión cromática en relación con el valor del índice de refracción  $Dn_3$  del revestimiento deprimido.

10 [0043] El punto del gráfico de la figura 3 en el que la dispersión cromática es mayor corresponde a la fibra del ejemplo 1. En base a este perfil de la fibra (ejemplo 1) y exclusivamente mediante el aumento de la diferencia de índice de refracción  $Dn_3$  del revestimiento deprimido hasta un valor de 0 para llegar al ejemplo 1b, que recae fuera del alcance de la invención, puede apreciarse que la dispersión cromática cae hasta un valor de 19,5 ps/nm-km, lo que reduce el valor FOM por debajo de 100 ps/nm-dB con unas pérdidas lineales sustancialmente constantes. Las pérdidas por flexión  $BL_{10mm}$  aumentan hasta 10 dB/m a 1625 nm, aumentándose también el valor de  $\lambda_{Ceff}$ .

15 [0044] La fibra de compensación de la dispersión según la invención puede fabricarse por estiramiento a partir de una preforma que tenga uno de los perfiles de índice de refracción descritos anteriormente. Dichos perfiles de las preformas, pueden fabricarse, por ejemplo, a partir de un tubo de sílice en el que se disponen las capas de sílice dopado, y que a continuación se enfunda o reviste para completar el revestimiento óptico exterior. La deposición puede efectuarse mediante las técnicas de deposición química modificada en fase de vapor (MCVD) y/o de deposición química en fase de vapor activada por plasma (PCVD). La deposición PCVD resulta especialmente adecuada para la fabricación de capas de revestimiento deprimido, si bien resulta posible, no obstante, fabricar la preforma para la fibra según la invención utilizando las técnicas CVD, VAD u OVD.

20 [0045] Los valores FOM que se ofrecen en la tabla II corresponden a ejemplos de fibras convencionales de bajo coste, es decir, que no poseen un núcleo de sílice puro, o más exactamente, que poseen un revestimiento óptico exterior cuya diferencia de índice de refracción es similar a la del sílice. La fibra según la invención se fabrica preferiblemente a base de un revestimiento óptico externo cuya diferencia de índice de refracción es similar a la del sílice, si bien también puede realizarse con un núcleo de sílice puro, que reduce aún más las pérdidas lineales y mejora el valor FOM, pero aumenta los costes, ya que debe fabricarse un revestimiento exterior de sílice dopado con una diferencia de índice de refracción inferior a la del sílice puro.

25 [0046] La fibra para compensación de dispersión según la invención se puede utilizar en un módulo para compensación de dispersión para un sistema de transmisión a larga distancia con una elevada tasa de transferencia de datos. El módulo para compensación de dispersión según la invención se puede utilizar para compensar la dispersión cromática en un enlace de fibra submarino con una dispersión cromática negativa, o para equilibrar una sobrecompensación en una línea de transmisión terrestre con una fibra que posea una dispersión cromática positiva.

30 [0047] Convencionalmente, un sistema de transmisión dispone de un transmisor de señales ópticas a lo largo de un rango predeterminado de longitudes de onda, por ejemplo, la banda C o la banda L, y una fibra de transmisión óptica como una fibra NZDSF-, por ejemplo, para un sistema de transmisión trasatlántico. Dicha fibra de transmisión, a través del rango de longitudes de onda en cuestión, presenta una dispersión cromática negativa y un gradiente de dispersión cromática positivo. Puede cablearse una fibra P-DCF y utilizarse en la línea, o en un módulo situado en cada uno de los nodos o en cada uno de los extremos del sistema, para compensar la dispersión cromática acumulada en una porción de línea.

35 [0048] Por lo general, una fibra de compensación de la dispersión dispuesta en dicho módulo óptico se enrolla en una carcasa del módulo. Debido a la búsqueda de carcasas miniaturizadas, las fibras de compensación de la dispersión deberían supuestamente enrollarse para adquirir unos diámetros cada vez más reducidos. Asimismo, la superposición de la fibra enrollada en las carcasas del módulo induce tensiones de micro-flexión en las fibras.

40 [0049] Por lo tanto, la fibra según la invención resulta especialmente adecuada para su aplicación a un módulo para compensación de dispersión que comprenda una carcasa de dimensiones reducidas y que ocupe muy poco espacio, ya que el espacio suele ser crítico, en el transmisor, en los nodos o en el receptor de los sistemas de transmisión.

45 [0050] En la tabla III que figura a continuación se ofrecen las dimensiones y características ópticas de un módulo para compensación de dispersión de tipo convencional que contiene 79,5 km de fibra SSMF (SSMF 1) enrollados en una bobina que tiene sustancialmente un diámetro de 90 mm, así como las de un módulo según la invención que contiene 63,1 km de la fibra según la invención enrollados en una bobina que tiene sustancialmente un diámetro de 90 mm. La fibra según la intención se corresponde sustancialmente con el ejemplo 1 de las tablas I y II.

5 **[0051]** La tabla III muestra sucesivamente las dimensiones de la carcasa en mm<sup>3</sup>, la longitud de la fibra en km, la longitud de onda de corte efectiva  $\lambda_{Ceff}$ , la dispersión cromática acumulada en ps/nm en la porción de fibra situada en el módulo, las pérdidas por soldadura y las pérdidas por inserción en dB, las pérdidas por inserción máximas en la banda C+ de 1530 a 1570 nm, la superficie efectiva  $A_{eff}$  en  $\mu\text{m}^2$  y la dispersión por modo de polarización en ps, denominada PMD. Los valores de la dispersión cromática D, de las pérdidas por soldadura y de las pérdidas por inserción, la superficie efectiva  $A_{eff}$  y el valor PMD se ofrecen a la longitud de onda de 1550 nm.

Tabla III

Módulos	Dimensiones (mm* mm* mm) (w * l * h)	Longitud de la fibra (km)	$\lambda_{Ceff}$	D acum.. @1550nm (ps/nm)	Pérdida por soldadura @1550nm (dB)	Pérdida por inserción @1550nm (dB)	Pérdida máxima por inserción banda C+ (dB)	$A_{eff}$ @1550 nm ( $\mu\text{m}^2$ )	PMD acum. @1550 nm (ps)
Fibra SMF	224*234*195	79,5	1300	1338	0,16	15,7	16,0	82	0,87
Invencción	224*234*145	63,1	1450	1338	0,20	12,5	12,8	85	0,43

10 **[0052]** De la tabla III se desprende que el módulo según la invención tiene unas dimensiones más reducidas, y concretamente, su espesor es menor, y tanto sus pérdidas por inserción como su PMD acumulada se han reducido claramente. Además, teniendo en cuenta que la fibra según la invención presenta una excelente resistencia a la flexión y una baja sensibilidad a micro-flexiones, no presenta ningún aumento en las pérdidas tras su bobinado: las pérdidas por inserción del módulo siguen siendo muy reducidas a lo largo de toda la banda C+ utilizada, de 1530 a 1570 nm.

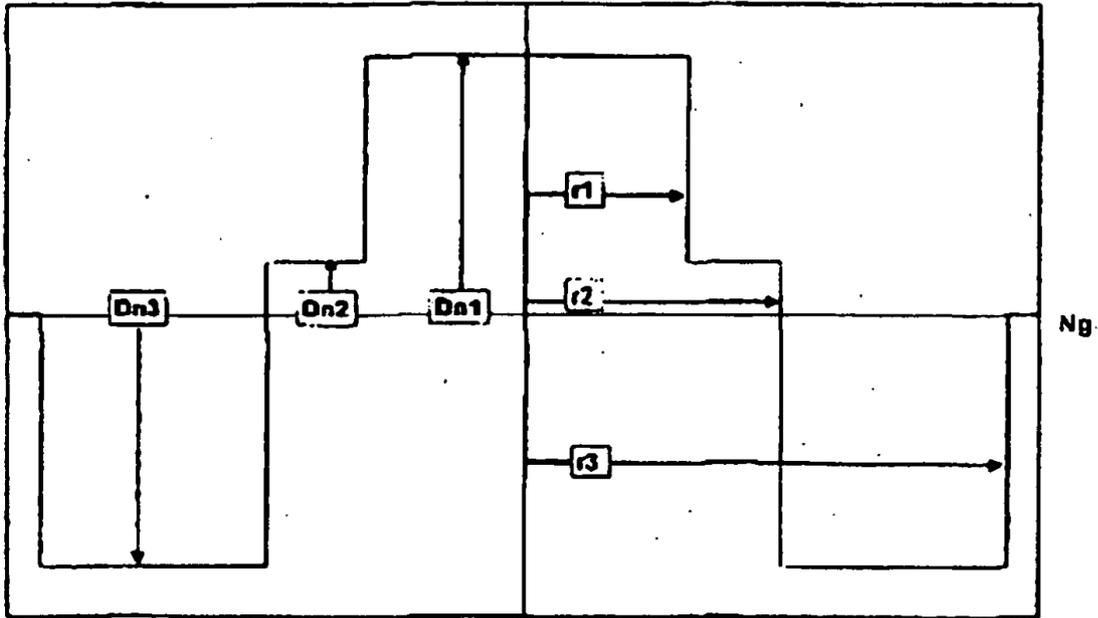
20 **[0053]** La utilización de la fibra según la invención, para los módulos de compensación de la dispersión con una dispersión cromática acumulada de 335 ps/nm a 1550 nm – lo que equivale a 20 km de fibra SSMF estándar – también posibilitaría la reducción desde un espesor de 95 mm a uno de 45 mm; y en el caso de los módulos para compensación de dispersión con una dispersión cromática acumulada de 837 ps/nm a 1550 nm – lo que equivale a 50 km de fibra SSMF – el espesor podría reducirse de 145 mm a 95 mm, todo ello con un diámetro de alma metálica constante, de sustancialmente 90 mm.

25 **[0054]** Asimismo, y teniendo en cuenta la adecuada resistencia que la fibra según la invención presenta a las flexiones y micro-flexiones, los diámetros de las almas metálicas utilizadas en los módulos para compensación de dispersión podrían reducirse sin que ello afecte a las pérdidas por inserción, lo que, por consiguiente, reduciría aún más las carcasas del módulo.

**REIVINDICACIONES**

1. Fibra óptica para compensación de dispersión, que comprende:  
 5 Un núcleo central con un radio  $r_1$  y una diferencia positiva de índice de refracción  $Dn_1$  con un revestimiento óptico exterior; un revestimiento intermedio con un radio  $r_2$  y una diferencia  $Dn_2$  con el revestimiento óptico externo, teniendo el revestimiento intermedio una anchura ( $r_2-r_1$ ) mayor o igual a  $2,0 \mu\text{m}$ ;  
 Un revestimiento deprimido interior, con un radio  $r_3$  y una diferencia negativa de índice de refracción  $Dn_3$  con el revestimiento óptico exterior, y una proporción entre el radio de modo de modo fundamental LP01 que se propaga por la fibra ( $W_{02}/r_2$ ) y el radio del revestimiento intermedio ( $W_{02}/r_2$ ) que es igual o inferior a 0,7, caracterizado porque la fibra presenta, para una longitud de onda de 1550 nm:  
 10 Una dispersión cromática positiva superior o igual a  $21 \text{ ps/nm/km}$ ; siendo la diferencia de índice de refracción  $Dn_3$  menor o igual que  $-3,0 \cdot 10^{-3}$ ,  
 El núcleo central tiene un radio  $r_1$  comprendido entre  $4 \mu\text{m}$  y  $6,50 \mu\text{m}$  para una diferencia de índice de refracción  $Dn_1$  con el revestimiento óptico externo comprendida entre  $4,0 \cdot 10^{-3}$  y  $6,5 \cdot 10^{-3}$ ,  
 15 El revestimiento deprimido interior tiene un radio  $r_3$  menor o igual que  $16 \mu\text{m}$ , y comprendido preferiblemente entre  $12 \mu\text{m}$  y  $16 \mu\text{m}$ , teniendo el revestimiento intermedio una diferencia de índice de refracción  $Dn_2$  con el revestimiento óptico externo comprendida entre  $-1,0$  y  $2,0 \cdot 10^{-3}$ ,  
 El revestimiento intermedio tiene un radio  $r_2$  comprendido entre  $6 \mu\text{m}$  y  $11 \mu\text{m}$ , presentando el revestimiento intermedio una anchura ( $r_2-r_1$ ) comprendida entre  $2,0$  y  $4,5 \mu\text{m}$ .
2. Fibra según la reivindicación 1, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta un factor de calidad (FOM) superior o igual a  $105 \text{ ps/nm/dB}$ .
3. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el revestimiento deprimido interior tiene una diferencia de índice de refracción  $Dn_3$  con el revestimiento óptico externo menor o igual que  $3,510^{-3}$ .
4. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que para una longitud de onda de 1625 nm, presenta unas pérdidas por flexión menores o iguales a  $1 \text{ dB/m}$  para un radio de curvatura de  $10 \text{ mm}$ .
5. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes que para una longitud de onda de 1550 nm presenta unas pérdidas por flexión 0,8 veces menores que las pérdidas por micro-flexión correspondientes a una fibra SSMF sometida a las mismas limitaciones.
6. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que para el modo fundamental, a una longitud de onda de 1550 nm, tiene una superficie efectiva ( $A_{\text{eff}}$ ) igual o superior a  $80 \mu\text{m}^2$ ,
7. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes que tiene una longitud de onda de corte efectiva ( $\lambda_{\text{ceff}}$ ) menor o igual a  $1600 \text{ nm}$ .
8. Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes que para una longitud de onda de 1550 nm, tiene menos del 1,3 % de la energía en el revestimiento deprimido interior.
9. Módulo óptico para compensación de dispersión que comprende al menos una porción de la fibra según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
10. Módulo según la reivindicación 9, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta unas pérdidas por inserción inferiores o iguales a  $12,5 \text{ dB}$  para una dispersión cromática acumulada de  $1338 \text{ ps/nm}$ .
11. Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 9 y 10, que para una longitud de onda comprendida entre  $1530 \text{ nm}$  y  $1570 \text{ nm}$ , presenta unas pérdidas por inserción inferiores o iguales a  $13 \text{ dB}$  para una dispersión cromática acumulada de  $1338 \text{ ps/nm}$ .
12. Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que para una longitud de onda de 1550 nm, presenta una dispersión por modo de polarización inferior o igual a  $0,50 \text{ ps}$ .
13. Módulo según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que tiene una carcasa en la que la porción de fibra está enrollada, teniendo carcasa un espesor al menos un 25% inferior que el espesor de una carcasa para el alojamiento de una fibra SSMF para un valor idéntico de dispersión cromática acumulada.

Figura 1



5 Figura 2

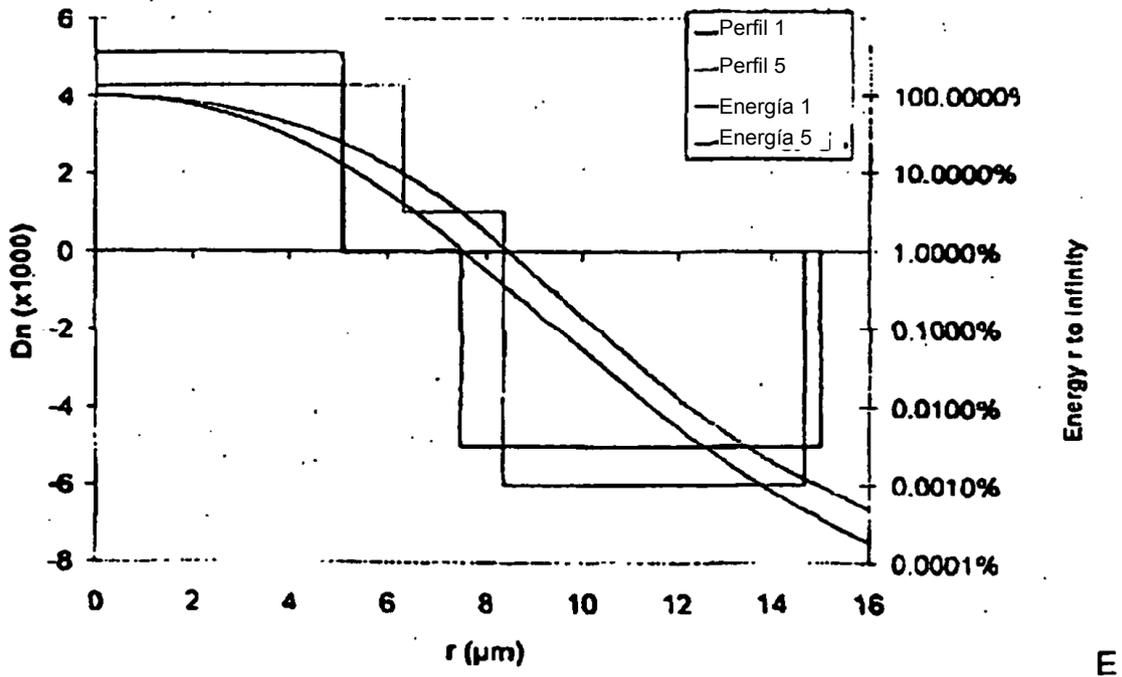
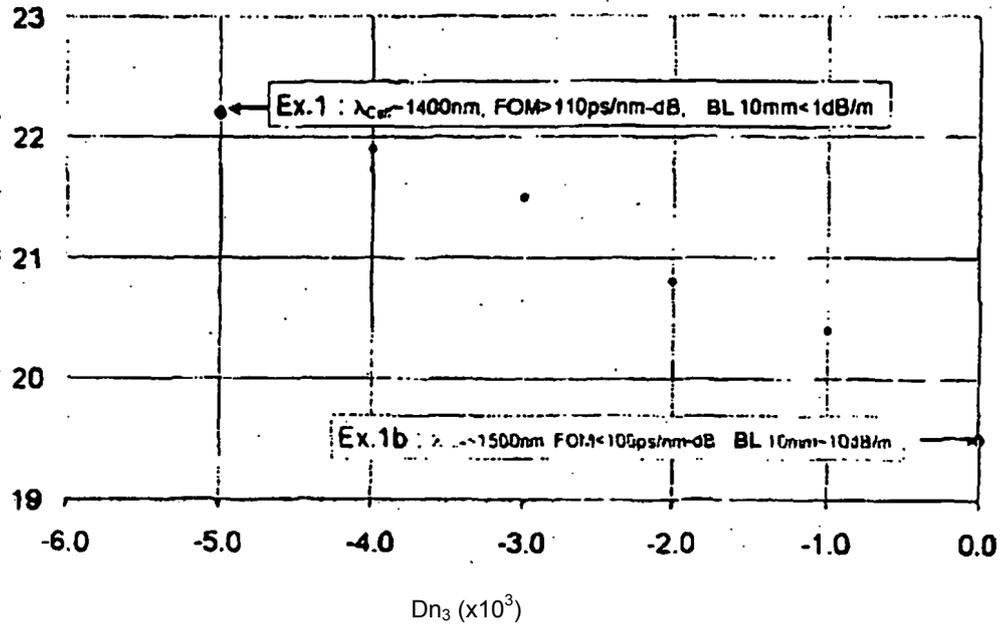


Figura 3

Ejemplos 1s:  $S_{pc} \sim 0,5$ ,  $85 < A_{eff} < 95 \mu m^2$



5

**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 citados en la descripción**

- US 5568583 A [0007]
- US 5361319 A [0007]
- EP 1067412 A [0007]
- US 6337942 A [0014]
- US 6665482 A [0015]
- EP 1255138 A [0016]
- US 6685190 A [0017]
- US 6658190 A [0018]

Literatura de no patente citada en la descripción

• **J.-C ANTONA ; M. LEFRANÇOIS ; S. BIGO ; G. LE**

**MEUR.** Investigation of Advanced Dispersion Management

Techniques for Ultra-Long Haul Transmissions.