

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 451 369**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/036** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2011 E 11305726 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2013 EP 2533082**

54 Título: **Fibra óptica de modo único**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.03.2014**

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ BV (100.0%)**  
**De Boelelaan 7**  
**1083 HJ Amsterdam, NL**

72 Inventor/es:

**BIGOT-ASTRUC, MARIANNE y**  
**SILLARD, PIERRE**

74 Agente/Representante:

**ARPE FERNÁNDEZ, Manuel**

**ES 2 451 369 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

5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de las transmisiones de fibra óptica, y más específicamente a las fibras ópticas de modo único (SMF). La invención se refiere a una fibra óptica de modo único que tiene una atenuación reducida y a un procedimiento para fabricar dicha fibra con capacidad aumentada.

10 **[0002]** Para las fibras ópticas, el perfil del índice es generalmente clasificado de acuerdo con el aspecto de la gráfica de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra. En forma estándar, la distancia  $r$  al centro de la fibra se muestra en el eje  $x$ , y en el eje  $y$ , la diferencia entre el índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento de la fibra. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o establecido de la fibra, mientras que las restricciones de fabricación de la fibra pueden resultar en un perfil ligeramente diferente. Una fibra óptica consiste convencionalmente en un núcleo óptico, cuya función es transmitir y, posiblemente amplificar una señal óptica, y un revestimiento óptico cuya función es confinar la señal óptica dentro del núcleo. Para este propósito, los índices de refracción del núcleo  $n_c$  y del revestimiento exterior  $n_g$  es tal que  $n_c > n_g$ .

15 **[0003]** Las fibras de índice de salto, también llamadas SMF ("fibras de modo único") se utilizan normalmente como fibras de línea para sistemas de transmisión de fibra óptica. Estas fibras tienen una dispersión cromática y una pendiente de dispersión cromática que cumple con los estándares específicos de telecomunicaciones, así como la longitud de onda de corte normalizada y valores de área efectiva.

20 **[0004]** En respuesta a la necesidad de compatibilidad entre los sistemas ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) 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).

25 **[0005]** Entre otros, la norma G.652 recomienda para una fibra de transmisión del rango [8,6; 9,5  $\mu\text{m}$ ] para el diámetro de campo modal para una longitud de onda de 1310 nm; un máximo de 1260 nm para el valor de longitud de onda de corte del cable; el rango de [1300; 1324 nm] para el valor de la longitud de onda de dispersión cero, indicada como  $\lambda_0$ ; un máximo de 0,092 ps/nm<sup>2</sup>-km para el valor de la pendiente de dispersión cromática. De manera estándar, la longitud de onda de corte del cable se mide como la longitud de onda a la que la señal óptica ya no es de modo único después de la propagación a través de veintidós metros de fibra, según la definición de subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793 -1-44.

30 **[0006]** La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha definido nuevas normas relativas a diversas aplicaciones de las fibras. La norma UIT-T G.654.B recomienda en particular una longitud de onda de corte del cable  $\lambda_{cc}$  menor que 1530 nm, un diámetro modal entre 9,5  $\mu\text{m}$  y 13,0  $\mu\text{m}$  a 1550 nm, una dispersión cromática menor de 22 ps / nm-km y una pendiente de dispersión de menos de 0,070 ps/nm<sup>2</sup>-km para 1550 nm, y pérdidas por curvatura de menos de 0,5 dB para 100 vueltas a 1.625 nm para un radio de curvatura de 30 mm. La norma UIT-T G.654.C recomienda en particular una longitud de onda de corte del cable  $\lambda_{cc}$  inferior a 1530 nm, un diámetro modal entre 9,5  $\mu\text{m}$  y 10,5  $\mu\text{m}$  a 1550 nm, una dispersión cromática menor de 20 ps / nm-km y una pendiente de dispersión de menos de 0,070 ps/nm<sup>2</sup>-km a 1550 nm, y pérdidas por curvatura de menos de 0,5 dB para 100 vueltas a 1.625 nm para un radio de curvatura de 30 mm.

35 **[0007]** Las fibras con núcleos de sílice pura también son conocidas, y son llamadas fibras de núcleo de sílice pura (PSCFs). La ausencia de dopante en el núcleo de una PSCF hace que sea posible limitar las pérdidas ópticas y en particular, la atenuación a una longitud de onda de 1550 nm. Por tanto, una PSCF tiene convencionalmente un revestimiento en sílice dopada con flúor para reducir su índice de refracción.

40 **[0008]** En una manera en sí conocida, una fibra óptica se fabrica mediante la elaboración de una preforma en una torre de estirado de fibra. Una preforma, por ejemplo, comprende una preforma primaria que consiste en un tubo de vidrio de muy alta calidad que constituyen una porción del revestimiento y el núcleo de la fibra. Esta preforma primaria es entonces sobre-revestida o encamisada con el fin de aumentar su diámetro y para formar una preforma que se puede usar en una torre de estirado de fibra. La operación de estirado de fibra a escala consiste en colocar la preforma verticalmente en una torre y estirar una hebra de fibra desde el extremo de la preforma. Para esto, se aplica una temperatura alta localmente en un extremo de la preforma hasta que se ablanda la sílice; la tasa de formación de fibras y la temperatura son entonces controlados de forma permanente durante el estirado de la fibra ya que determinan el diámetro de la fibra. La geometría de la preforma debe observar perfectamente las relaciones de los índices de refracción y de los diámetros de núcleo y del revestimiento de la fibra de manera que la fibra estirada tenga el perfil requerido.

45 **[0009]** La preforma primaria puede consistir en un tubo de sustrato, generalmente de cuarzo, en el que una o más capas de sílice dopada y / o sin dopar se han depositado para formar el núcleo y un revestimiento interior de la fibra. La técnicas de deposición dentro de un tubo de sustrato incluyen MCVD (deposición química en fase de vapor modificada), FCVD (deposición química en fase de vapor en horno) o PCVD (deposición química en fase de vapor asistida por plasma). Después de depositar las capas correspondientes al núcleo y el revestimiento interior, el tubo se pliega sobre sí mismo durante una operación llamada de colapsado.

**[0010]** La deposición de componentes que comúnmente se conoce por la expresión "dopado", a saber, "dopantes" se añaden a la sílice con el fin de cambiar su índice de refracción. De este modo, el germanio (Ge) o el fósforo (P) aumentan el índice de refracción de la sílice son utilizados a menudo para el dopar el núcleo central de la fibra. Por otra parte, el flúor (F) o de boro (B) disminuyen el índice de refracción de la sílice, el flúor se utiliza a menudo para la formación de revestimientos deprimidos.

**[0011]** Fabricar una preforma primaria con un revestimiento alta y completamente deprimido es delicado. De hecho, el flúor por ejemplo, es pobremente incorporado en sílice calentada más allá de una cierta temperatura, mientras que para la fabricación del vidrio se requiere una alta temperatura. La técnica PCVD se puede utilizar de manera eficaz para producir revestimiento deprimido en el interior de un tubo de deposición. Dicha técnica de fabricación se describe en los documentos US RE 30,635 y US 4.314.833; que permite incorporar flúor de manera significativa en sílice con el fin de formar revestimientos altamente deprimidos. Se proporciona un tubo de deposición, hecho de sílice pura o dopada con flúor, que se monta en una torre de fabricación de vidrio. El tubo es entonces puesto en rotación y una mezcla gaseosa de sílice y dopantes es inyectada en el tubo. El tubo atraviesa una cavidad de microondas en la que la mezcla de gas se calienta localmente. El calentamiento por microondas genera plasma mediante la ionización de los gases inyectados en el tubo y los dopantes altamente ionizados reaccionan con las partículas de sílice, provocando la deposición de capas de sílice dopada en el interior del tubo. La alta reactividad de los dopantes, generados por el calentamiento por microondas, permite una alta concentración de dopantes a incorporar dentro de las capas de sílice.

**[0012]** La figura 1 ilustra un perfil de índice establecido de una PSCF convencional. El perfil de índice de la figura 1 muestra un núcleo central de radio  $a$  y de un índice de  $D_{n1}$  correspondiente al índice de la sílice, y un revestimiento deprimido de radio  $r_{out}$  exterior y de índice de  $D_{ninner}$ . Se utiliza la expresión "revestimiento deprimido" ya que el índice de refracción  $D_{ninner}$  es menor que el del revestimiento exterior  $D_{ncl}$  obtenido por el sobre-revestimiento o encamisado de la preforma primaria. Este revestimiento exterior es generalmente de vidrio de sílice pura y tiene sustancialmente el mismo índice de refracción que el núcleo central en una PSCF. Típicamente, el núcleo y la revestimiento interior están hechos por la deposición en el interior de un tubo de sustrato y el revestimiento exterior está hecho del tubo de sustrato utilizado para la fabricación de la preforma primaria y de sobre revestimiento o funda utilizado para llegar a un diámetro requerido.

**[0013]** En la estructura descrita anteriormente, con un revestimiento exterior que tiene sustancialmente el mismo índice de refracción que el núcleo central, el modo fundamental LP01 no es guiado por completo y muestra pérdidas adicionales, llamadas fugas. Para minimizar estas pérdidas por fugas, el porcentaje de energía que se propaga en el revestimiento exterior de sílice pura debe ser reducido. Por consiguiente, la relación entre el radio exterior del revestimiento interior dopado con flúor y el radio del núcleo ( $r_{out} / a$ ) debe ser suficientemente alto, es decir, el revestimiento deprimido interior de sílice debe extenderse por lo menos tan lejos como el radio crítico  $r_{out}$ , cuyo valor depende del radio del núcleo y de la diferencia de índice entre el índice de núcleo  $D_{n1}$  y el índice del revestimiento interior  $D_{ncl}$ ; para una SMF se considera que una relación entre el radio del revestimiento deprimido y el radio del núcleo que es 8 o mayor ( $r_{out} / a > 8$ ) asegura un buen confinamiento de la señal óptica en el núcleo central y un nivel aceptable de las pérdidas por fugas.

**[0014]** El documento EP-A-2 312 350 propone proporcionar una zanja en el revestimiento deprimido con el fin de limitar las pérdidas por fugas del modo LP01 y permitir que el tubo de sustrato esté más próximo al núcleo central. Esta solución se ilustra en la figura 1 en líneas de puntos. Se proporciona una zanja de radio interior  $b$  y de radio exterior  $c$  e índice  $D_{n3}$  dentro del revestimiento deprimido. El revestimiento deprimido a continuación, tiene una primera porción adyacente al núcleo que tiene un radio exterior  $B$  y un índice  $D_{n2}$  y una segunda porción adyacente al tubo de sustrato que tiene un radio interior  $C$  y un índice de  $D_{ninner}$ . Pero el radio interior  $r_{out}$  del tubo de sustrato no puede ser reducido fácilmente por debajo de 30  $\mu\text{m}$  en la fibra sin penalizar las características de propagación.

**[0015]** Las técnicas MCVD, FCVD y PCVD son satisfactorios para obtener un núcleo de buena calidad y un gran revestimiento interior altamente deprimido, pero es costoso cuando se buscan preformas de gran capacidad. En particular, el uso de técnicas de CVD hace que sea posible para limitar la atenuación y en particular la atenuación a 1383 nm debido al pico OH.

**[0016]** La capacidad de una preforma se define como la cantidad de longitud de la fibra óptica que se puede estirar a partir de esta preforma. Cuanto mayor sea el diámetro de la preforma, mayor es la capacidad. Para reducir los costes de fabricación, es deseable proporcionar grandes longitudes de fibra lineal estiradas a partir de una misma preforma. Por tanto, se trataba de fabricar preformas de gran diámetro, respetando las limitaciones antes mencionadas en relación con los diámetros del núcleo central y el revestimiento deprimido interior.

**[0017]** El documento US-A-2008/0031582 o el US-A-5 044 724 describe la utilización de un tubo de deposición dopado con flúor para fabricar la preforma primaria. Esta solución permite limitar la cantidad de capas dopadas con flúor depositadas en el interior del tubo. El documento WO-A-2010/003856 revela la fabricación de tubos de flúor dopado por POD (Deposición externa asistida por plasma) o OVD.

**[0018]** Cuando se utiliza un tubo de deposición dopado con flúor, el revestimiento deprimido de la preforma primaria se compone del revestimiento interior depositado y del propio tubo. La relación entre el radio del revestimiento

interior y el radio del núcleo se puede así aumentar mientras que se limita la cantidad de deposición en el interior del tubo. Sin embargo, esta solución es difícil de dominar ya que las condiciones de deposición cambian cuando se utiliza un tubo dopado con flúor en lugar de un tubo de sílice sin dopar.

- 5 **[0019]** El documento US-A-2007/0003198 describe un procedimiento híbrido en el que una varilla que constituye la región del núcleo dopado con germanio se realiza por la VAD o OVD y se deposita una zona de revestimiento dentro de un tubo por MCVD. La varilla de núcleo y el tubo de revestimiento MCVD se ensamblan utilizando una técnica de varilla en tubo. Sin embargo, las fibras descritas en este documento no tienen núcleo de sílice pura y muestran los problemas inherentes de atenuación para 1385 nm vinculada a la utilización de técnicas de VAD o OVD.
- 10 **[0020]** El documento EP-A-2 003 476 da a conocer perfiles de anillo asistido para los que el índice del anillo está próximo al núcleo central. Este documento enseña que el anillo está diseñado para acoplar de forma resonante sus modos con los modos de orden superior del núcleo central. Dicho perfil de fibra evita la propagación de modos de orden superior desde el núcleo central y en última instancia, mejora las pérdidas por curvatura del modo fundamental. Estos perfiles no están optimizados para las fibras de núcleo de sílice pura.
- 15 **[0021]** La invención tiene por objetivo reducir el revestimiento interior dopado con flúor depositado dentro de los tubos de sustrato sin aumentar las pérdidas por fugas del modo LP01 y sin deteriorar las restantes características de propagación de la fibra.
- 20 **[0022]** Este objetivo se consigue con una fibra óptica de modo único que comprende desde el centro a la periferia un núcleo, un revestimiento deprimido interior, un anillo, un revestimiento deprimido exterior y un revestimiento exterior, donde
- el núcleo tiene un radio y una diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior comprendido entre  $-0,5 \cdot 10^{-3}$  y  $0,5 \cdot 10^{-3}$ ,
  - el revestimiento deprimido interior tiene un radio y una diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior;
- 25
- el anillo tiene un radio interior comprendido entre 21  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$ , preferiblemente entre 24  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$ , un radio exterior y una diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior comprendido entre  $-0,5 \cdot 10^{-3}$  y  $0,5 \cdot 10^{-3}$ ;
  - el revestimiento deprimido exterior tiene un radio y una diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior; y
  - una relación del volumen del núcleo respecto de la anchura del anillo está comprendida entre 0,12  $\mu\text{m}$  y 0,2  $\mu\text{m}$ ;
- 30
- el revestimiento deprimido exterior tiene un volumen ( $V_{\text{out}}$ ) comprendido entre 15  $\mu\text{m}^2$  y 30  $\mu\text{m}^2$ .
- [0023]** De acuerdo con formas de realización, la fibra de la invención puede tener uno o más de lo siguiente:
- el núcleo tiene un radio comprendido entre 3,5  $\mu\text{m}$  y 7,5  $\mu\text{m}$ ;
  - el revestimiento deprimido interior tiene una diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior comprendida entre  $-6 \cdot 10^{-3}$  y  $-2,7 \cdot 10^{-3}$ ;
- 35
- el revestimiento deprimido exterior tiene una diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior comprendida entre  $-6 \cdot 10^{-3}$  y  $-2 \cdot 10^{-3}$ ;
  - el revestimiento deprimido exterior tiene una diferencia de índice de refracción con el revestimiento deprimido interior comprendida entre  $-2 \cdot 10^{-3}$  y  $-2 \cdot 10^{-3}$ ;
  - la relación del radio interior de anillo respecto del radio del núcleo está comprendida entre 2,5 y 8;
- 40
- el revestimiento deprimido exterior tiene un volumen comprendido entre 17  $\mu\text{m}$  y 25  $\mu\text{m}$ ;
  - la fibra además comprende una zanja proporcionada en el revestimiento deprimido interior, teniendo dicha zanja una diferencia de índice de refracción con el revestimiento externo, un radio interior y un radio exterior que es inferior que el radio del revestimiento deprimido interior;
  - el núcleo y/o el anillo está hecho de sílice pura;
- 45
- las pérdidas por fugas son menores de 0,005 dB/km a 1550nm;
  - longitud de onda de corte del cable es menor de 1550 nm, preferiblemente menor de 1530 nm, y más preferiblemente menor de 1260 nm;
  - las pérdidas por curvatura para 10 mm de radio son de menos de 5 dB/m a 1550 nm y menos de 10 dB/m a 1625

nm.

**[0024]** La invención también se refiere a un procedimiento para la fabricación de una fibra óptica de acuerdo con la invención, el procedimiento comprende las etapas de:

- proporcionar un tubo de deposición;

5 - realizar una deposición de capas en el interior del tubo de deposición para constituir el núcleo y el revestimiento deprimido interior, constituyendo dicho tubo de deposición el anillo;

- proporcionar el segundo revestimiento deprimido;

- proporcionar el revestimiento exterior, proporcionado de este modo la preforma óptica;

- estirar la fibra calentando el primer extremo de la preforma.

10 **[0025]** De acuerdo con una forma de realización, el procedimiento comprende además una etapa de retirar parcialmente el tubo de deposición.

**[0026]** De acuerdo con una forma de realización, el segundo revestimiento deprimido está hecho mediante una de las siguientes formas: encamisado con un tubo dopado, sobre revestimiento con sílice dopada, deposición exterior con sílice dopada.

15 **[0027]** Otras características y ventajas de la invención resultarán con la lectura de la siguiente descripción de formas de realización de la invención dados como ejemplos y con referencia a los dibujos adjuntos, que muestran:

- la figura 1, ya descrita, un perfil de índice establecido de una PSCF de acuerdo con la técnica anterior;

- la figura 2, un perfil de índice establecido de una fibra de acuerdo con una primera forma de realización de la invención;

20 - la figura 3, un perfil de índice establecido de una fibra de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención;

- la figura 4, una ilustración de un procedimiento de fabricación para obtener una fibra de la invención.

**[0028]** La invención se refiere a una fibra de modo único que tiene bajas pérdidas de transmisión y que puede ser fabricada a un coste reducido sin deterioro de las características de propagación.

25 **[0029]** Para este fin, la invención propone una fibra que tiene una fibra de núcleo de sílice pura - o un núcleo de sílice ligeramente dopado - para limitar la atenuación y en particular la atenuación a 1550 nm, cuando está involucrado dopado con germanio. La invención propone fabricar el núcleo y un revestimiento deprimido interior mediante CVD en el interior de un tubo de deposición para limitar la atenuación y en particular la atenuación a 1383 nm debido al pico OH. Un revestimiento deprimido exterior se añade alrededor del tubo de sustrato que va a actuar

30 como un anillo. Tal configuración permite reducir la anchura del revestimiento interior deprimido que se deposita en el interior del tubo de sustrato y poner este tubo de sustrato mucho más próximo al núcleo central, que procura costes de fabricación mucho más bajos. La posición y dimensión del anillo son cuidadosamente seleccionados, para minimizar las pérdidas por fugas del modo fundamental LP01 ( $< 0.005\text{dB/km}$ ), mientras que se mantienen las pérdidas por fugas del modo de orden superior LP11 lo suficientemente altas para asegurar una longitud de onda de

35 corte del cable compatible con G.654. El anillo también hace que sea posible reducir las pérdidas por curvatura, manteniendo sin cambios otras características de propagación.

**[0030]** La figura 2 ilustra el perfil de índice de una fibra de acuerdo con la invención. La fibra de modo único de la invención comprende, desde el centro a la periferia, un núcleo, un revestimiento deprimido interior, un anillo, un revestimiento deprimido exterior y un revestimiento exterior. El revestimiento exterior tiene un índice  $Dn_{cl}$ . El

40 revestimiento exterior puede ser sílice pura - sin dopar - o sílice ligeramente dopada.

**[0031]** El núcleo tiene un radio  $a$  comprendido entre un  $3,5 \mu\text{m}$  y  $7,5 \mu\text{m}$  y una diferencia de índice  $Dn_1$  con el revestimiento exterior comprendida entre  $-0,5 \cdot 10^{-3}$  y  $0,5 \cdot 10^{-3}$ . El ligero dopado - o incluso el no dopado - del núcleo asegura una atenuación limitada a 1550 nm. El valor de índice del núcleo podría ser el resultado del co-dopado para mejorar la resistencia de hidrógeno y en particular para reducir la atenuación a 1383 nm debido al pico OH.

45 **[0032]** El revestimiento deprimido interior tiene un  $r_{ring1}$  radio comprendido entre  $21 \mu\text{m}$  y  $35 \mu\text{m}$  - preferiblemente entre  $24 \mu\text{m}$  y  $35 \mu\text{m}$  - y una diferencia de índice  $Dn_{inner}$  con el revestimiento exterior  $Dn_{cl}$  comprendido entre  $-6 \cdot 10^{-3}$  y  $-2,7 \cdot 10^{-3}$ . El pequeño radio del revestimiento deprimido interior -en comparación con el radio del revestimiento deprimido interior de la técnica anterior de la figura 1- asegura la deposición limitada mediante CVD y control de

50 demasiado importantes. Sin embargo, este radio no debe ser demasiado pequeño, pues de otro modo las pérdidas por fugas son demasiado importantes. En particular, la relación del radio del revestimiento deprimido interior respecto del radio del núcleo ( $r_{ring1} / a$ ) puede estar comprendida entre 2,5 y 8, e incluso preferentemente entre 3,5 y 7, que es menos que los requisitos típicos para una SMF ( $r_{out} / a > 8$ ) para asegurar un buen confinamiento de la señal óptica en el núcleo central y un nivel aceptable de las pérdidas por fugas.

**[0033]** El anillo tiene un radio interior  $r_{ring1}$  comprendido entre 21  $\mu\text{m}$  y 35  $\mu\text{m}$  (extremo del revestimiento deprimido interior), un radio exterior  $r_{ring2}$  y una diferencia de índice  $Dn_{ring}$  con el revestimiento exterior  $Dn_{cl}$  comprendida entre  $-0,5 \cdot 10^{-3}$  y  $0,5 \cdot 10^{-3}$ .

5 **[0034]** El revestimiento deprimido exterior tiene un radio interior  $r_{ring2}$  (extremo del anillo), un radio exterior  $r_{out}$  y una diferencia de índice  $Dn_{out}$  con el revestimiento exterior  $Dn_{cl}$  comprendida entre  $-6 \cdot 10^{-3}$  y  $-2 \cdot 10^{-3}$ .

10 **[0035]** De acuerdo con una forma de realización que se ilustra en la figura 3, se puede proporcionar una zanja en el revestimiento deprimido interior con el fin de limitar aún más las pérdidas por fugas del modo LP01. La zanja tiene un radio interior  $b$  y un radio exterior  $c$  y una diferencia de índice  $Dn_3$  con el revestimiento exterior  $Dn_{cl}$ . El revestimiento deprimido interno siguiente, tiene una primera porción adyacente al núcleo que tiene un radio exterior  $b$  y un índice  $Dn_2$  y una segunda porción adyacente al anillo que tiene un radio interior  $c$  y un índice  $Dn_{inner}$ .

15 **[0036]** La posición y dimensión del anillo son cuidadosamente seleccionadas para garantizar la mejor relación posible entre bajas pérdidas por fugas, baja longitud de onda de corte y pequeño revestimiento deprimido interior para un diámetro de campo modal determinado. La posición y la dimensión del anillo deben ser elegidas cuidadosamente para asegurarse de que la fibra sigue cumpliendo con la mayoría de requisitos de las normas G. 652 G.654.

**[0037]** En particular, la relación entre el volumen del núcleo  $(V_{core} = 2\pi \int_0^a Dn(r) r dr)$  y la anchura del anillo  $(W_{ring} = R_{ring2} - R_{ring1})$  está comprendida entre 0,12  $\mu\text{m}$  y 0,2  $\mu\text{m}$ .

20 **[0038]** La posición y dimensión del revestimiento deprimido exterior también son cuidadosamente seleccionadas para garantizar la mejor relación posible entre bajas pérdidas por fugas, baja longitud de onda de corte y pequeño revestimiento deprimido interior para un diámetro de campo modal determinado. La posición y la dimensión del anillo pueden ser elegidas cuidadosamente para asegurarse de que la fibra sigue cumpliendo con la mayoría de requisitos de las normas G. 652 G.654.

**[0039]** En particular, el volumen del revestimiento deprimido exterior  $(V_{out} = 2\pi \int_{ring2}^{out} Dn(r) r dr)$  está comprendido entre 15  $\mu\text{m}^2$  y 30  $\mu\text{m}^2$ , y más preferiblemente entre 17  $\mu\text{m}^2$  y 25  $\mu\text{m}^2$ .

25 **[0040]** Las condiciones combinadas sobre el volumen del revestimiento deprimido exterior  $V_{out}$  y la relación entre el volumen del núcleo sobre el ancho del anillo  $(V_{core} / W_{ring})$  asegura que las características de propagación no se deterioran, en particular las pérdidas por fugas permanecen menores de 0,005dB/km a 1550 nm, la longitud de onda de corte del cable  $\lambda_{cc}$  es inferior a 1550 nm y las pérdidas por curvatura se mantienen aceptables. La fibra de la invención cumple totalmente con los requisitos de las normas G.652 o G.654 para diámetro modal, la dispersión cromática, la pendiente de dispersión y las pérdidas por curvatura, mientras que la fibra de la invención pueden soportar los requerimientos externos de las normas G.652 o G.654 con respecto la longitud de onda de corte del cable  $\lambda_{cc}$  que puede ser ligeramente mayor de 1530 nm, hasta 1550 nm.

30 **[0041]** La siguiente tabla I da ejemplos de perfiles establecidos para la fibra de acuerdo con la invención y ejemplos comparativos fuera del ámbito de la invención.

35 **[0042]** Los ejemplos 1, 2, 4, 5, 8, 11 y 12 son conformes a la invención. Los ejemplos 1b, 3, 4b, 6, 7, 8b, 9 y 10 están fuera del ámbito de la invención y se dan para fines de comparación.

Tabla I

Perfiles	a ( $\mu\text{m}$ )	b ( $\mu\text{m}$ )	c ( $\mu\text{m}$ )	$r_{ring1}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_{ring2}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_{out}$ $10^{-3}$	$Dn1.$ $10^{-3}$	$Dn2.$ $10^{-3}$	$Dn3.$ $10^{-3}$	$Dn_{inner}$ $10^{-3}$	$Dn_{ring.}$ $10^{-3}$	$Dn_{out.}$ $10^{-3}$	$W_{ring}$	$V_{core}/$ $W_{ring}$	$V_{out}$ ( $\mu\text{m}^2$ )
Ej 1	4,4	-	-	26,1	27,9	47,8	0,0	-	-	-5,2	0,0	-5,0	1,8	0,17	23,7
Ej 2	4,4	-	-	29,0	31,0	47,2	0,0	-	-	-5,2	0,0	-5,0	2,0	0,15	19,9
Ej 3	4,4	-	-	25,1	26,9	46,8	0,0	-	-	-5,2	0,0	-10,0	1,8	0,17	46,0
Ej 1b	4,4	-	-	-	-	43,5	0,0	-	-	-5,2	-	-	-	-	-
Ej 4	6,1	11,2	14,4	25,1	28,1	45,8	0,0	-4,2	10,0	-4,2	0,0	-5,0	3,0	0,16	20,6

## ES 2 451 369 T3

Ej 5	6,1	11,2	14,4	23,7	26,3	45,8	0,0	-4,2	10,0	-4,2	0,0	-5,0	2,6	0,19	22,2
Ej 6	6,1	11,2	14,4	27,3	34,3	48,6	0,0	-4,2	10,0	-4,2	0,0	-5,0	7,0	0,07	18,6
Ej 7	6,1	11,2	14,4	27,3	33,3	45,1	0,0	-4,2	10,0	-4,2	0,0	-5,0	6,0	0,08	14,5
Ej 4b	6,1	11,2	14,4	-	-	39,1	0,0	-4,2	10,0	-4,2	-	-	-	-	-
Ej 8	5,3	-	-	30,4	32,7	46	0,0	-	-	-4,8	0,0	-4,8	2,3	0,18	15,6
Ej 9	5,3	-	-	24	25,9	46	0,0	-	-	-4,8	0,0	-4,8	1,9	0,42	21,6
Ej 8b	5,3	-	-	-	-	42,5	0,0	-	-	-4,8	-	-	-	-	-
Ej 10	4,4	-	-	19,0	21,0	47,2	0,0	-	-	-5,2	0,0	-5,0	2,0	0,15	28,1
Ej 11	4,4	-	-	29,0	31,0	47,2	0,4	-	-	-4,8	0,0	-5,0	2,0	0,15	19,9
Ej 12	5,3	-	-	30,4	32,7	46,0	-0,4	-	-	-5,2	0,1	-5,2	2,3	0,18	17,3

**[0043]** La tabla II a continuación presenta las características ópticas de las fibras de los ejemplos y el ejemplo comparativo descritos anteriormente.

Tabla II

Perfiles	LCC (nm)	Pérdidas por fugas @1550nm (dB/km)	Dispersión @1550nm (ps/nm/km)	Pendiente @1550nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	Aeff @1550nm (μm <sup>2</sup> )	2W02 @1550nm (μm <sup>2</sup> )	BL10mm @1550nm (μm <sup>2</sup> )	BL10mm @1625nm (dB/m)
Ej 1	1203	0,000	16,4	0,054	82	10,3	3,0	7,9
Ej 2	1121	0,001	16,4	0,054	82	10,3	1,4	4,5
Ej 3	>1600	0,000	16,6	0,055	82	10,3	<1e-03	<1e-03
Ej 1b	1218	0,000	16,6	0,055	83	10,3	6,7	24,0
Ej 4	1458	0,000	21,0	0,062	120	12,1	0,1	0,4
Ej 5	1543	0,000	21,0	0,062	120	12,1	0,3	0,8
Ej 6	>1600	0,002	21,0	0,062	120	12,1	0,9	1,7
Ej 7	1304	0,040	21,0	0,062	120	12,1	0,6	1,4
Ej 4b	1502	0,002	21	0,062	120	12,1	0,6	1,4
Ej 8	>1100	0,000	19,0	0,057	101	11,2	0,7	2,4
Ej 9	1252	0,000	19,0	0,057	101	11,2	6,2	12,1
Ej 8b	1341	0,000	19,0	0,057	101	11,2	2,1	6,3
Ej 10	1435	0,001	16,3	0,053	82	10,3	45	94
Ej 11	1147	0,000	16,4	0,055	82	10,3	1,3	4,3
Ej 12	>1100	0,000	19,1	0,056	100	11,2	0,9	2,6

5

**[0044]** A partir de la tabla II puede observarse que la mayoría de las fibras de la invención son totalmente compatibles con las normas G.652 o G.654 antes mencionadas.

**[0045]** En particular, los ejemplos 1, 2, 4, 5, 8, 11 y 12 que están bajo el alcance de la invención tienen: dispersiones inferiores a 22 ps / nm / km, pendientes de dispersión menores de 0.070 ps/nm<sup>2</sup>/km, áreas efectivas Aeff mayores

- de 70 mm<sup>2</sup>, pérdidas por fugas de menos de 0,005 dB / km y pérdidas por curvatura para radios de 10 mm de menos de 5 dB / m para 1550 nm y de menos de 10 dB / m para 1625 nm. El ejemplo 5 se encuentra dentro del alcance de la invención, pero muestra una longitud de onda de corte del cable ligeramente por encima de los requisitos de las normas G.652 o G.654. La fibra de la invención tiene una longitud de onda de corte del cable inferior a 1550 nm, más preferiblemente menor de 1530 nm para cumplir con la norma G.654, y aún más preferiblemente menor de 1260 nm para además cumplir la norma G.652.
- 5
- [0046]** Los ejemplos 1b, 3, 4b, 6, 7, 8b, 9 y 10 están fuera del alcance de la invención y se presentan en aras de comparación.
- [0047]** El ejemplo 1b tiene el mismo núcleo central y revestimiento deprimido que el ejemplo 1 (mismo radio, misma  $D_{n1}$  y  $D_{ninner}$ ), pero sin anillo. El revestimiento exterior se ha posicionado para conseguir la mejor relación entre pérdidas por fugas y sección de deposición. Todas las características de propagación son equivalentes a los del ejemplo 1, a excepción de las pérdidas por curvatura para un radio de 10 mm, que son más del doble a 1550 nm y 1625 nm. Si se compara con el ejemplo 1, utilizando el tubo de sustrato como el anillo, el radio de la sección de deposición aumenta en más de 17  $\mu\text{m}$  haciendo mucho mayor los costes de fabricación.
- 10
- [0048]** El ejemplo 3 tiene las mismas dimensiones de núcleo, igual anchura de anillo y misma anchura de revestimiento exterior a los del ejemplo 1. Pero el anillo se ha puesto más próximo al núcleo. El revestimiento exterior está mucho más deprimido con el fin de mantener bajas pérdidas por fuga y bajas pérdidas por curvatura a pesar de un anillo más próximo al núcleo. Pero las pérdidas por fugas de los modos de orden superior son también muy reducidas, lo que induce a un fuerte aumento de corte de cable por encima 1.600 nm. Otras características de propagación no se han modificado.
- 15
- [0049]** El ejemplo 4b tiene el mismo núcleo central y las mismas características de zanja que los del ejemplo 4 (igual en a, b, c,  $D_{n1}$ ,  $D_{n2}$ ,  $D_{n3}$ ,  $D_{inner}$ ), pero sin anillo. El revestimiento exterior se ha posicionado para conseguir la mejor relación entre pérdidas por fugas, longitud de onda de corte y sección de deposición. Todas las características de propagación son equivalentes a las del ejemplo 4. Sin embargo, el radio de la sección de deposición está aumentado en 14  $\mu\text{m}$  haciendo mucho mayores los costes de fabricación.
- 20
- [0050]** El ejemplo 6 tiene el mismo núcleo central y mismas características de zanja que los del ejemplo 4 (misma a, b, c,  $D_{n1}$ ,  $D_{n2}$ ,  $D_{n3}$ ,  $D_{inner}$ ), pero las dimensiones del anillo no están optimizadas. Como consecuencia de ello, la longitud de onda de cable está fuertemente aumentada por encima de 1600 nm.
- [0051]** El ejemplo 7 tiene el mismo núcleo central y mismas características de zanja que los del ejemplo 4 (misma a, b, c,  $D_{n1}$ ,  $D_{n2}$ ,  $D_{n3}$ ,  $D_{inner}$ ), pero el anillo y las dimensiones de revestimiento exterior no están optimizados. Como consecuencia de ello, un anillo demasiado grande o combinado con un muy pequeño volumen de revestimiento exterior conduce a un nivel inaceptable de pérdidas por fuga.
- 25
- [0052]** El ejemplo 8b tiene las mismas características de núcleo central que las del ejemplo 8 (mismo radio, misma  $D_{n1}$  y  $D_{ninner}$ ), pero sin anillo. El revestimiento exterior se ha posicionado para conseguir la mejor relación entre las pérdidas por fuga y sección de deposición. La dispersión, la pendiente y el diámetro de campo modal son equivalentes a los del ejemplo 8. Pero tanto las pérdidas por curvatura y la longitud de onda de corte del cable se aumentan. Si se compara con el ejemplo 8, utilizando el tubo de sustrato como anillo, el radio de la sección de deposición se aumenta en más de 12  $\mu\text{m}$  lo que lleva a costos de fabricación mucho más altos.
- 30
- [0053]** El ejemplo 9 tiene el mismo perfil de índice de refracción que el del ejemplo 8, excepto el anillo, que es más delgado y más próximo al núcleo. Como consecuencia, las pérdidas por fugas no se aumentan. Sin embargo, el perfil no está optimizado, estando fuertemente aumentadas las pérdidas por curvatura.
- 35
- [0054]** El ejemplo 10 tiene el mismo perfil de índice de refracción que el del ejemplo 2, excepto el anillo que está más próximo al núcleo. Como consecuencia de ello, las pérdidas por fugas no se aumentan. Sin embargo, el perfil no está optimizado, estando fuertemente aumentadas las pérdidas por curvatura.
- 40
- [0055]** La figura 4 ilustra un procedimiento de fabricación que se puede utilizar para obtener la fibra de la invención con costes de fabricación reducidos.
- 45
- [0056]** De acuerdo con una forma de realización, el tubo de sustrato utilizado para el proceso de deposición puede convertirse en el anillo del perfil establecido. Cuando sea necesario se obtienen el núcleo, primer revestimiento deprimido y la zanja deprimida mediante la deposición en el interior de un tubo de deposición. Se puede considerar cualquier técnica CVD, como PCVD o MCVD o FCVD. Si es necesario, el tubo de sustrato puede ser retirado parcialmente por una evaporación o ataque químico para cumplimentar las dimensiones optimizadas del anillo.
- 50
- [0057]** El revestimiento deprimido exterior puede estar compuesto de un tubo con camisa o funda infra dopada rodeado por un revestimiento exterior estándar (tubo o material de sobre revestimiento). En tal caso, el radio exterior de la sección de deposición química en fase de vapor es  $r_{ring1}$  (ver figura 4). La cantidad de deposición de CVD se limita y el costo de la preforma se reduce, mientras que se obtiene una gran región deprimida.
- 55

**[0058]** En comparación con los perfiles sin anillo (ejemplos 1b, 4b, 8b fuera del alcance de la invención), las fibras de la invención permiten reducir el revestimiento dopado con flúor que se deposita en el interior del tubo de sustrato y poner este tubo de sustrato mucho más próximo al núcleo central, lo que produce diámetros de núcleo de varilla mucho más grandes y costes de fabricación mucho más bajos.

5 **[0059]** En particular, la fibra de acuerdo con la invención permite reducir el radio del revestimiento dopado con flúor que se deposita en el interior del tubo de sustrato que actúa como el anillo en más de  $\sim 10\mu\text{m}$  de fibra en comparación con una fibra con el mismo núcleo central y sin anillo. En comparación con soluciones con una zanja añadida al revestimiento deprimido interior (tales como la descrito en el documento EP-A-2312350), la fibra de la invención permite reducir el radio del revestimiento dopado con flúor depositado en más de  $\sim 5\mu\text{m}$  en la fibra.

10 **[0060]** Finalmente, las pérdidas por curvatura también se pueden reducir en comparación con los de un perfil sin anillo, mientras se mantiene sin cambios otras características de propagación. En particular, las pérdidas por curvatura se pueden reducir en más de 2 sin penalizar la longitud de onda de corte del cable.

15 **[0061]** Cabe señalar que la presente invención no se limita a las realizaciones descritas como ejemplos. En particular, los perfiles establecidos que se muestran en las figuras 2 o 3 se dan a modo de ejemplos y 4 se pueden contemplar otros procedimientos de fabricación que el de la ilustración de la figura 4 para obtener la fibra de acuerdo con la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Fibra óptica de modo único que comprende desde el centro a la periferia, un núcleo, un revestimiento deprimido interior, un anillo, un revestimiento deprimido exterior y un revestimiento exterior, donde

5 - el núcleo tiene un radio (a) y una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>1</sub>) con un revestimiento exterior (Dn<sub>d</sub>) comprendida entre -0,5.10<sup>-3</sup> y 0,5.10<sup>-3</sup>;

- el revestimiento deprimido interior tiene un radio (r<sub>ring1</sub>) y una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>inner</sub>) con el revestimiento exterior (Dn<sub>cl</sub>);

10 - el anillo tiene un radio interior (r<sub>ring1</sub>) comprendido entre 21 μm y 35 μm, preferiblemente entre 24 μm y 35 μm, un radio exterior (r<sub>ring2</sub>) y una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>ring</sub>) con el revestimiento exterior (Dn<sub>cl</sub>) comprendida entre -0,5.10<sup>-3</sup> y 0,5.10<sup>-3</sup>;

- el revestimiento deprimido exterior tiene un radio (r<sub>out</sub>) y una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>out</sub>) con el revestimiento exterior (Dn<sub>cl</sub>); y

- un radio del volumen del núcleo (V<sub>core</sub>) sobre la anchura del anillo (W<sub>ring</sub>) está comprendido entre 0.12 μm y 0.2 μm donde

$$(V_{core} = 2\pi \left| \int_0^a Dn(r) r dr \right|) \quad \text{y} \quad (W_{ring} = r_{ring1} - r_{ring1});$$

15 - el revestimiento deprimido exterior tiene un volumen (V<sub>out</sub>) comprendido entre 0,12 μm y 0,2 μm donde

$$(V_{out} = 2\pi \left| \int_{r_{ring2}}^{r_{out}} Dn(r) r dr \right|).$$

2. Fibra de la reivindicación 1, en la que el núcleo tiene un radio (a) comprendido entre 3,5 μm y 7,5 μm

3. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el revestimiento deprimido interior tiene una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>inner</sub>) con el revestimiento exterior (Dn<sub>cl</sub>) comprendida entre -6.10<sup>-3</sup> y -2,7.10<sup>-3</sup>.

20 4. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el revestimiento deprimido exterior tiene una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>out</sub>) con el revestimiento exterior (Dn<sub>cl</sub>) comprendida entre -6.10<sup>-3</sup> y -2.10<sup>-3</sup>.

5. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el revestimiento deprimido exterior tiene una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>out</sub>) con el revestimiento deprimido interior (Dn<sub>inner</sub>) comprendida entre -2.10<sup>-3</sup> y -2.10<sup>-3</sup>.

25 6. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el ratio del radio interior de anillo frente al radio del núcleo (r<sub>ring1</sub>/a) está comprendido entre 2,5 y 8.

7. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el revestimiento deprimido exterior tiene un volumen (V<sub>out</sub>) comprendido entre 17 μm y 25 μm.

30 8. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que además comprende una zanja proporcionada en el revestimiento deprimido interior, teniendo dicha zanja una diferencia de índice de refracción (Dn<sub>3</sub>) con el revestimiento externo (Dn<sub>cl</sub>), un radio interior (b) y un radio exterior (c) que es inferior al radio (r<sub>ring1</sub>) del revestimiento deprimido interior.

9. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el núcleo y/o el anillo está hecho de sílice pura.

10. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene pérdidas por fugas menores de 0,005 dB/km at 1550nm.

35 11. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene una longitud de onda de corte del cable menor de 1550 nm, preferiblemente menor de 1530 nm, y más preferiblemente menor de 1260 nm.

12. Fibra de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que tiene unas pérdidas por curvatura para 10 mm de radio de menos de 5 dB/m a 1550 nm y menos de 10 dB/m a 1625 nm.

13. Procedimiento para la fabricación de una fibra óptica con las características de cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 12, el procedimiento comprende las etapas de:

- 5 - proporcionar un tubo de deposición;
- realizar una deposición de capas en el interior del tubo de deposición para constituir el núcleo y el revestimiento deprimido interior, constituyendo el tubo de deposición el anillo;
- proporcionar el segundo revestimiento deprimido;
- proporcionar el revestimiento exterior, proporcionado de este modo la preforma óptica;
- 10 - estirar la fibra calentando el primer extremo de la preforma.

14. Procedimiento de la reivindicación 13, además comprende la etapa de retirar de manera parcial el tubo de deposición.

15. Procedimiento de la reivindicación 13 o 14, donde el segundo revestimiento deprimido está hecho de una de las siguientes formas: encamisado con un tubo dopado, sobre revestimiento con sílice dopada, deposición exterior con sílice dopada.

FIGURA 1

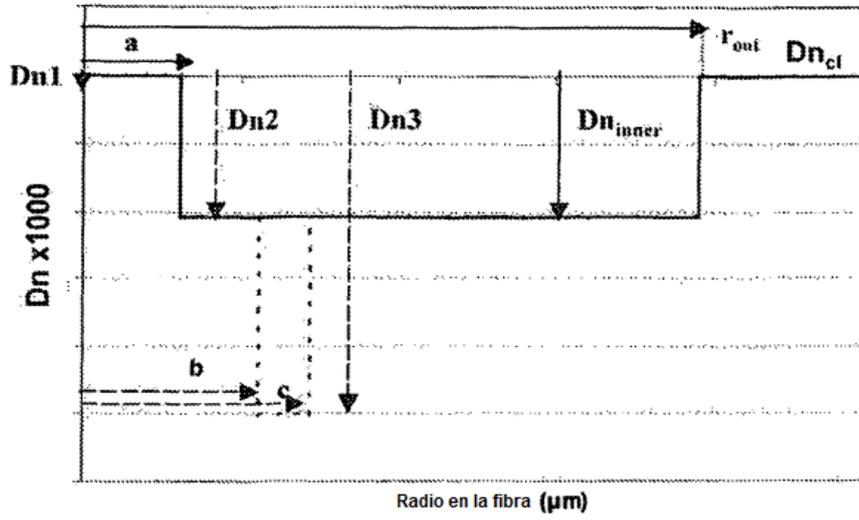


FIGURA 2

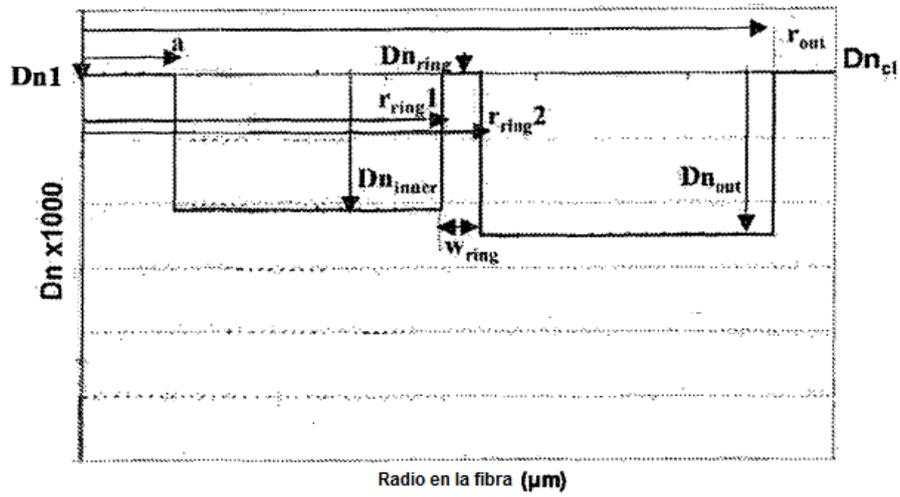


FIGURA 3

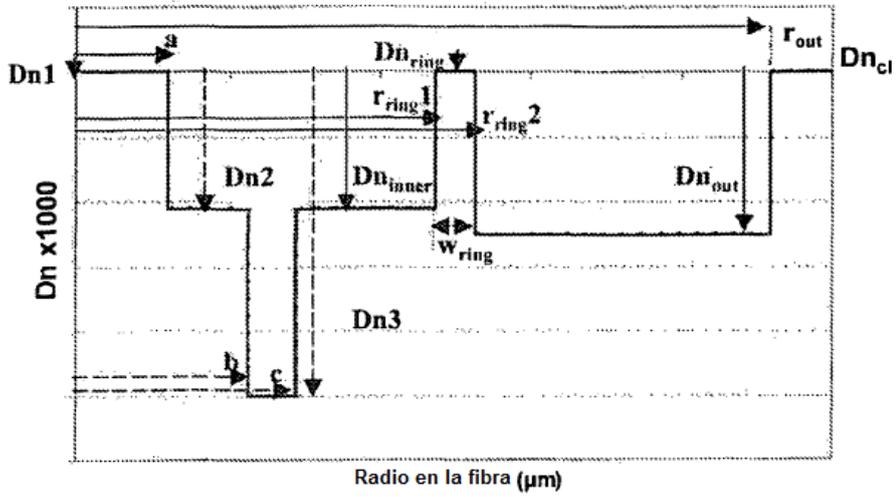
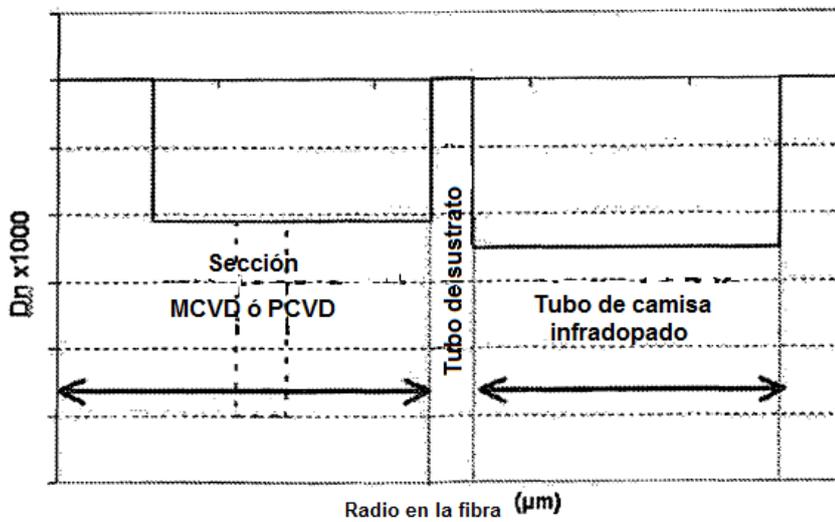


FIGURA 4



**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 RE30635 E [0011]
- US 4314833 A [0011]
- EP 2312350 A [0014] [0059]
- US 20080031582 A [0017]
- US 5044724 A [0017]
- WO 2010003856 A [0017]
- US 20070003198 A [0019]
- EP 2003476 A [0020]

10