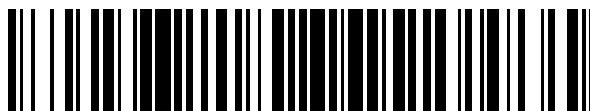


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 847 900**

51 Int. Cl.:

G02B 6/028 (2006.01)

G02B 6/036 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2013** **PCT/IB2013/002955**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2015** **WO15092464**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2013** **E 13848138 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.12.2020** **EP 3084490**

54 Título: **Fibra monomodo con un núcleo trapezoidal, que muestra pérdidas reducidas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.08.2021

73 Titular/es:

DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)
Schieweg 9
2627 AN Delft, NL

72 Inventor/es:

DE MONTMORILLON, LOUIS-ANNE y
SILLARD, PIERRE

74 Agente/Representante:

DE ARPE TEJERO, Manuel

ES 2 847 900 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 monomodo con un núcleo trapezoidal, que muestra pérdidas reducidas

1. Campo de la invención

5 La invención se refiere a fibras ópticas monomodo usadas en sistemas de transmisión óptica, comprendiendo los sistemas de transmisión óptica tales fibras monomodo, y procedimientos de fabricación de las mismas.

Más específicamente, la presente invención se refiere a fibras ópticas monomodo que tienen pérdidas de dispersión reducidas.

2. Antecedentes

10 Los sistemas de telecomunicación requieren fibra óptica, que puede transmitir señales para una larga distancia sin degradación. Tales sistemas de transmisión de fibra óptica a menudo usan fibras ópticas monomodo (SMF), tales como, por ejemplo, las denominadas fibras monomodo "convencionales" (SSMF), que se usan en sistemas de transmisión terrestre.

15 Para facilitar la compatibilidad entre sistema ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha definido varias normas con las que debiera cumplir una fibra de transmisión óptica convencional. Entre estas normas, la recomendación ITU-T G. 652 (Noviembre de 2009) tiene varios atributos (es decir A, B, C y D) que definen los atributos de la fibra de una fibra óptica monomodo con perfil de salto de índice. La recomendación ITU-T G. 657 se centra de manera más precisa en las fibras monomodo insensibles a la curvatura.

20 Como puede entenderse fácilmente, la pérdida es el parámetro clave para evaluar el rendimiento de tales fibras monomodo, y cualquier solución que posibilite reducir pérdidas en 0,001 dB/km en la longitud de onda de 1550 nm mejorará significativamente tales fibras monomodo, siempre que los otros atributos técnicos y el coste de fabricación de las fibras se mantengan aproximadamente igual. En la actualidad, las pérdidas típicas en la longitud de onda de 1550 nm para una fibra monomodo de salto de índice son 0,19 dB/km, de manera que reducir las pérdidas en 0,001 dB/km induciría una mejora de pérdida del -0,5 %.

25 Es bien conocido que, para tales fibras monomodo, aproximadamente el 90 % de las pérdidas son debido a la dispersión de Rayleigh en 1550 nm. El 10 % restante cubre, por otra parte, las pérdidas inducidas por mecanismos de absorción (pico OH, pérdidas de infrarrojos, pérdidas de ultravioleta) y, por otra parte, las pérdidas inducidas por un mecanismo de dispersión adicional, tales como SAS ("Dispersión de Ángulo Pequeño") descritas en el documento de patente US 7.171.090.

30 También es bien conocido que las transiciones de perfil de índice agudo inducen tales pérdidas de dispersión adicionales. Como un ejemplo, el perfil de salto de índice G. 652, que presenta un salto de índice de núcleo de aproximadamente 5×10^{-3} , induce dispersión adicional en el orden de unos pocos miles de dB/km (aproximadamente 0,005 dB/km) en la longitud de onda de 1550 nm.

35 En realidad, debe recalcar que una fibra óptica está constituida convencionalmente de un núcleo óptico, que transmite una señal óptica, y de un revestimiento óptico, que confina la señal óptica dentro del núcleo óptico. Para ese fin, el índice de refracción del núcleo, n_c , es mayor que el del revestimiento, n_{cl} . Una fibra óptica está caracterizada en general por un perfil de índice de refracción que asocia el índice de refracción (n) con el radio (r) de la fibra óptica: la distancia r con respecto al centro de la fibra óptica se muestra en el eje x y la diferencia Δn entre el índice de refracción en el radio r , $n(r)$, y el índice de refracción del revestimiento óptico n_{cl} se muestra en el eje y . Las fibras monomodo de salto de índice muestran una transición de perfil de índice agudo entre el núcleo y el revestimiento.

40 Diseñar perfiles de núcleo que tienen transición de índice suavizado se ha investigado en el pasado, en un intento de limitar las pérdidas adicionales.

45 El documento de patente US 7.171.090 describe por lo tanto una fibra de guía de onda óptica diseñada con una transición suave del perfil de índice desde el núcleo hasta el revestimiento, que tiene baja atenuación y dispersión de ángulo pequeño (SAS) baja, al menos en parte debido a un perfil de alfa bajo (es decir, alfa menor que 2,5). En realidad, los perfiles de alfa bajos producen un cambio gradual del índice de refracción, lo que contribuye a una pérdida reducida debido a la Dispersión de Ángulo Pequeño (SAS).

50 El documento de patente US 6.625.360 también describe fibras ópticas monomodo que tienen una región interfacial entre el núcleo y el revestimiento con cambio de índice adecuado, lo que posibilita la consecución de fototransmisión de pérdida baja.

Las fibras monomodo G. 652 con perfiles de núcleo de forma alfa se describen también en los documentos de patente EP 2 369 379 y US 7.876.990. Aunque un perfil alfa de este tipo permite una transición suave del índice de refracción desde el núcleo al revestimiento, no es fácil controlar en el procedimiento de fabricación de una fibra monomodo, tal como una G. 652 SMF con un diámetro de núcleo de aproximadamente 10 μm (por lo tanto mucho

menor que el diámetro de núcleo de fibras multimodo (50 µm o 62,5 µm), que a menudo usan perfiles de índice calificados como alfa). El documento de patente WO2013/066964 desvela una fibra multimodo resistente a la pérdida de curvatura con un perfil de índice calificado como alfa. El documento de patente US2013/0279868 desvela una fibra multimodo de apertura numérica alta de diámetro de núcleo grande resistente a la curvatura y un procedimiento para fabricar la misma.

El documento de patente WO 02/27367 desvela una fibra monomodo, que tiene baja dispersión entre 1530 y 1565 nm, y que comprende un núcleo central, dos núcleos laterales, un revestimiento y un vidrio exterior. El núcleo central tiene una forma trapezoidal.

Por lo tanto, sería deseable diseñar una fibra óptica monomodo que muestre mejoras sobre la técnica anterior. Más precisamente sería deseable diseñar una fibra óptica monomodo, que sea fácil de fabricar, y en la que se reduzcan las pérdidas de dispersión debido a los cambios de índice, sin degradar la dispersión de Rayleigh.

3. Sumario

En una realización particular de la invención, se propone una fibra óptica monomodo que tiene un núcleo y un revestimiento, teniendo el perfil de índice de refracción del núcleo la forma de un trapezoide. La parte de transición del perfil de índice de refracción de núcleo similar a trapezoide se obtiene cambiando gradualmente una concentración de al menos dos dopantes a partir de una concentración en dicha parte central de dicho núcleo a una concentración en una parte de revestimiento adyacente a dicho núcleo, en el que los al menos dos dopantes incluyen tanto germanio como flúor.

Por lo tanto, la invención se basa en un enfoque novedoso e inventivo del diseño de fibras monomodo con transición flexible del perfil de índice desde el núcleo al revestimiento. En realidad, una fibra óptica monomodo de acuerdo con una realización de la invención tiene un núcleo con un perfil de índice de refracción que muestra una forma trapezoidal, en lugar de la forma de saltos más habitual. Una forma trapezoidal de este tipo permite reducir las pérdidas de dispersión adicionales en la fibra óptica monomodo, sin degradar la dispersión de Rayleigh. Además, una forma trapezoidal de este tipo es más fácil de fabricar, en comparación con el perfil de índice de refracción con forma alfa de la técnica anterior, lo que no es adecuado para el diámetro de núcleo pequeño de las fibras ópticas monomodo.

Se consigue una forma trapezoidal de este tipo a través de un cambio gradual en la concentración de dos o más dopantes en la parte de transición desde la parte central del núcleo hasta el revestimiento. Un diseño cuidadoso de este tipo permite conseguir las mismas características ópticas (tales como diámetro de campo modal, longitud de onda de corte de cable y dispersión cromática), en cuanto a una fibra óptica monomodo de salto de índice equivalente.

En una primera realización de la presente invención, el revestimiento comprende al menos una región de índice de refracción deprimida, denominada una trinchera.

En otra realización de la presente invención, la fibra óptica monomodo es de manera que:

- la parte central de dicho núcleo tiene un radio r_0 y un índice de refracción n_0 ;
 - la parte de transición varía desde el radio r_0 a un radio $r_1 > r_0$;
- y el revestimiento comprende:
- un revestimiento intermedio que varía desde el radio r_1 al radio $r_2 > r_1$ y que tiene un índice de refracción n_2 ;
 - una trinchera que varía del radio r_2 al radio $r_3 > r_2$ y que tiene un índice de refracción n_3 ;
 - un revestimiento exterior que varía desde el radio r_3 y que tiene un índice de refracción n_4 .

En otra realización más de la presente invención, una relación r_0/r_1 de dicha parte central de dicho radio del núcleo r_0 hasta dicho radio de la parte de transición r_1 se encuentra entre aproximadamente 0,25 y 0,75.

En otra realización más de la presente invención, dicho núcleo tiene una integral de la superficie V_{01} de entre aproximadamente $19 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ y $25 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$, definiéndose la integral de la superficie de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx \frac{\Delta n_0 \cdot (r_1 + r_0) + \Delta n_2 \cdot (r_1 - r_0)}{2},$$

donde $\Delta n_0 = n_0 - n_4$ es la diferencia de índice de refracción de dicha parte central de dicho núcleo con respecto a dicho revestimiento exterior, y $\Delta n_2 = n_2 - n_4$ es la diferencia de índice de refracción de dicho revestimiento intermedio con respecto a dicho revestimiento exterior.

En otra realización más de la presente invención, dicha trinchera tiene una integral de la superficie V_{03} de entre aproximadamente $-55 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ y 0, definiéndose la integral de la superficie V_{03} de acuerdo con la siguiente ecuación

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3,$$

donde $\Delta n_3 = n_3 - n_4$ es la diferencia de índice de refracción de dicha trinchera con respecto a dicho revestimiento exterior.

- 5 En otra realización más de la presente invención, dicho núcleo tiene una integral del volumen V_{11} de entre aproximadamente $80 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $105 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$, definiéndose la integral del volumen V_{11} de acuerdo con la siguiente ecuación

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx \frac{\Delta n_0 \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_0 + r_0^2) + \Delta n_2 \cdot (2r_1^2 - r_1 \cdot r_0 - r_0^2)}{3},$$

- 10 donde $\Delta n_0 = n_0 - n_4$ es la diferencia de índice de refracción de dicha parte central de dicho núcleo con respecto a dicho revestimiento exterior, y $\Delta n_2 = n_2 - n_4$ es la diferencia de índice de refracción de dicho revestimiento intermedio con respecto a dicho revestimiento exterior.

En otra realización más de la presente invención, dicha trinchera tiene una integral del volumen V_{13} de entre aproximadamente $-1200 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y 0, definiéndose la integral del volumen V_{13} de acuerdo con la siguiente ecuación

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3,$$

- 15 donde $\Delta n_3 = n_3 - n_4$ es la diferencia de índice de refracción de dicha trinchera con respecto a dicho revestimiento exterior.

En otra realización más de la presente invención, dichos al menos dos dopantes pertenecen al grupo que comprende:

- 20 - óxido de germanio;
- flúor;
- óxido de fósforo;
- óxido de boro.

En otra realización más de la presente invención, el revestimiento comprende un dopante que induce el índice de refracción menor que el sílice y un dopante de este tipo induce una reducción del índice de refracción del $-0,20 \times 10^{-3}$ o menor.

- 25 En otra realización más de la presente invención, la parte central del núcleo comprende un dopante que induce el índice de refracción mayor que el sílice y un dopante de este tipo induce un aumento del índice de refracción de $0,6 \times 10^{-3}$ o mayor.

En otra realización más, la fibra óptica tiene un diámetro de campo modal comprendido entre $8,6 \mu\text{m}$ y $9,5 \mu\text{m}$ a una longitud de onda de 1310 nm y una longitud de corte de cable máxima de 1260 nm .

- 30 Además, la presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de una fibra óptica monomodo que tiene un núcleo y un revestimiento, teniendo el perfil de índice de refracción de núcleo una forma similar a trapecioide, comprendiendo dicho procedimiento una primera etapa de deposición química de vapor para formar un núcleo-varilla, seguido por una segunda etapa de sobre-recubrimiento de dicho núcleo-varilla para obtener una preforma, seguido por una tercera etapa de extracción de una fibra óptica de dicha preforma,

- 35 en el que la primera etapa de deposición química de vapor comprende una etapa de cambio de manera gradual una concentración de al menos dos dopantes en dicha parte de transición desde una concentración en dicha parte central de dicho núcleo a una concentración en una parte de revestimiento adyacente a dicho núcleo y en el que los dopantes incluyen tanto germanio como flúor.

- 40 En una realización de la presente invención, la primera etapa de deposición química de vapor que incluye la etapa de cambio de manera gradual de dicha concentración se lleva a cabo introduciendo dichos dopantes en un núcleo-varilla por medio de un procedimiento FCVD (para Deposición Química de vapor por Horno) o por medio de un procedimiento PCVD (para Deposición Química de vapor por Plasma).

La presente invención también se refiere a un sistema de transmisión de fibra óptica que comprende al menos una fibra monomodo de acuerdo con la invención.

4. Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de las realizaciones de la invención deberán aparecer a partir de la siguiente descripción, dada por medio de un ejemplo indicativo y no exhaustivo y a partir de los dibujos adjuntos, de los cuales:

- 5 - La Figura 1 representa un perfil de índice de refracción para una fibra óptica de ejemplo de acuerdo con la presente invención. Este perfil de índice de refracción es un perfil de diseño, que es representativo del perfil teórico de la fibra óptica;
 - La Figura 2 representa un perfil de índice de refracción para otra fibra óptica de ejemplo de acuerdo con la presente invención. Este perfil de índice de refracción también es un perfil de diseño, que es representativo del perfil teórico de la fibra óptica;
 - 10 - La Figura 3 muestra un primer caso de escenario de co-dopaje que permite conseguir el perfil de índice de refracción de la Figura 1;
 - La Figura 4 muestra un segundo caso de escenario de co-dopaje que permite conseguir el perfil de índice de refracción de la Figura 1;
 - 15 - La Figura 5 muestra un tercer caso de escenario de co-dopaje que permite conseguir el perfil de índice de refracción de la Figura 1;
 - La Figura 6 muestra un cuarto caso de escenario de co-dopaje que permite conseguir el perfil de índice de refracción de la Figura 1;
 - La Figura 7 muestra un quinto caso de escenario de co-dopaje que permite conseguir el perfil de índice de refracción de la Figura 1;
 - 20 - La Figura 8 muestra un sexto caso de escenario de co-dopaje que permite conseguir el perfil de índice de refracción de la Figura 1;
 - La Figura 9 ilustra una realización de un procedimiento para fabricar una fibra monomodo de acuerdo con la invención.
- 25 Los componentes en las figuras no están necesariamente a escala, sino que se hace énfasis en su lugar en ilustrar los principios de la invención.

5. Descripción detallada

Las **Figuras 1 y 2** muestran diagramas del perfil de índice de una fibra que constituye una primera realización (referenciada como Ej1) y una segunda realización (referenciada como Ej2) de la invención; en estas realizaciones, el perfil de índice es un perfil de índice de tipo trapezoide con un anillo, y presenta, empezando desde el centro de la fibra:

- una parte central del núcleo que tiene un índice de refracción sustancialmente constante mayor que el de revestimiento;
- 35 - una primera porción anular del núcleo, en la que el índice se reduce sustancialmente de manera lineal, desde el índice de la parte central del núcleo al índice del revestimiento intermedio. Una porción anular de este tipo del núcleo también se denomina "parte de transición" del perfil de índice similar a trapezoide del núcleo, a través de todo el presente documento;
- un revestimiento intermedio;
- una trinchera (por ejemplo un revestimiento deprimido);
- 40 - un revestimiento exterior.

La fibra en su conjunto, constituye por lo tanto una fibra que tiene un denominado perfil "similar a trapezoide".

La parte central del núcleo tiene un radio r_0 y una diferencia de índice Δn_0 con relación al revestimiento exterior. En la parte de transición del núcleo, la diferencia de índice de refracción se reduce sustancialmente de manera lineal. El índice de refracción del núcleo típicamente tiene una forma trapezoidal. Por consiguiente, la diferencia de índice de refracción $\Delta n(r)$ entre el núcleo central y el revestimiento exterior depende de la distancia r desde el centro de la fibra óptica (por ejemplo, reduciéndose a medida que aumenta la distancia desde el centro de la fibra óptica). Como se usa en el presente documento, la expresión "diferencia de índice de refracción" no excluye una diferencia de índice de refracción de cero.

El revestimiento intermedio tiene un radio r_2 y una diferencia de índice de refracción Δn_2 con respecto al revestimiento exterior que es típicamente constante. La trinchera enterrada tiene un radio r_3 y una diferencia de índice de refracción Δn_3 con respecto al revestimiento exterior que es típicamente constante. Como se usa en el presente documento, la expresión "trinchera enterrada" se usa para designar una porción radial de la fibra óptica que tiene un índice de refracción menor que el índice de refracción del revestimiento exterior. Una trinchera de este tipo tiene un índice de refracción menor o igual que el del primer revestimiento intermedio.

55 El revestimiento exterior varía de un radio r_3 hasta el extremo de la parte de vidrio de la fibra monomodo.

Las **Figuras 1 y 2** se diferencian en su mayoría entre sí por la diferencia de índice de refracción de la trinchera enterrada Δn_3 , que es mucho más importante en la realización de ejemplo Ej2 de la **figura 2**.

En ambas **figuras 1 y 2**, los índices de refracción (n) se proporcionan a una longitud de onda de 633 nm (es decir la longitud de onda en la que se mide el perfil gracias al aparato comercial) con relación al índice de revestimiento exterior n_4 . Estos índices se denominan por lo tanto "índice delta". Más en general, a través de todo el presente documento, todos los índices de refracción se proporcionan a una longitud de onda $\lambda = 633$ nm.

5 Cada realización de ejemplo en las **figuras 1 y 2** se compara con una fibra óptica monomodo que tiene un perfil de índice de salto de núcleo y que muestra características ópticas equivalentes (tales como diámetro de campo modal, cortes (corte de fibra, FCO y corte de cable, CCO) y longitud de onda de dispersión cero (ZDW)). Estos perfiles de índice de refracción de salto de índice se referencian respectivamente como Ej1 Comp en la **figura 1** y Ej2 Comp en la **figura 2**, y se muestran en líneas discontinuas.

10 La longitud de corte de fibra (FCO) corresponde a la longitud de corte eficaz λ_{Ceff} , tal como se define por el subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44. La longitud de onda de corte de cable (CCO) corresponde a la longitud de onda de corte en el cable λ_{cc} tal como se define por el subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793-1-44.

15 La **Tabla 1** a continuación extrae una comparación de los diseños de índice de refracción de las realizaciones de ejemplo Ej1 y Ej2 de las **figuras 1 y 2** con sus fibras monomodo de salto de índice equivalentes Ej1 Comp y Ej2 Comp, así como una comparación del diseño de índice de refracción de una tercera realización de ejemplo de la invención Ej3 con su fibra monomodo de salto de índice equivalente Ej3 Comp. Los valores en la **Tabla 1** corresponden a los perfiles de índice de refracción teóricos.

TABLA 1

	relación r_0/r_1	r_0	r_1	r_2	r_3	$\Delta n_0 \times 1000$	$\Delta n_2 \times 1000$	$\Delta n_3 \times 1000$
		(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(-)	(-)	(-)
Ej1 Comp	1	4,23	4,23	8,91	13,49	5,28	0,08	-0,4
Ej1	0,5	2,9	5,8	8,91	13,49	5,51	-0,27	-0,4
Ej2 Comp	1	3,85	3,85	9,29	13,21	5,27	0,22	-7,03
Ej2	0,5	2,61	5,21	9,29	13,21	5,52	-0,03	-7,03
Ej3 Comp	1	3,91	3,91	9,23	14,81	5,23	0,1	-7,15
Ej3	0,5	2,65	5,31	9,23	14,81	5,44	-0,18	-7,15

20 La primera columna de la **Tabla 1** enumera las fibras ópticas de ejemplo y comparativas. Las siguientes columnas proporcionan, para cada fibra monomodo enumerada en la primera columna:

- la relación de la parte central del radio de núcleo a la parte de transición del radio exterior del núcleo;
- el radio r_0 de la parte central del núcleo, expresado en μm ;
- el radio exterior r_1 de la parte de transición del núcleo, expresado en μm ;
- 25 - el radio exterior r_2 del revestimiento intermedio, expresado en μm ;
- el radio exterior r_3 de la trinchera, expresado en μm ;
- el índice delta Δn_0 de la parte central del núcleo;
- el índice delta Δn_2 del revestimiento intermedio;
- el índice delta Δn_3 de la trinchera.

30 Las diferencias de índice de refracción en la **Tabla 1** (así como en todas las otras tablas a través de todo el presente documento) se han multiplicado por 1000, ya que son los valores ordenados en las **Figuras 1 y 2** (por ejemplo, para la primera realización de ejemplo de la invención Ej1, el índice delta de la parte central del núcleo es $5,51 \times 10^{-3}$). Los valores de índice de refracción se midieron en una longitud de onda de 633 nanómetros.

35 La **Tabla 2** (a continuación) muestra características de transmisión óptica para fibras monomodo ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción representados en la **Tabla 1**. La primera columna identifica las fibras ópticas de ejemplo y comparativas. Las siguientes columnas proporcionan, para cada fibra óptica:

- el diámetro de campo modal en 1310 nm (MFD 1310) expresado en μm ;
- el diámetro de campo modal en 1550 nm (MFD 1550) expresado en μm ;
- la longitud de onda de corte de fibra (FCO) expresada en nm;
- 40 - la longitud de onda de corte de cable (CCO) expresada en nm;
- la longitud de onda de dispersión cromática cero (ZDW) expresada en nm;
- la pendiente de dispersión cero (ZDS) expresada en $\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$.

TABLA 2

	MFD 1310	MFD 1550	FCO	CCO	ZDW	ZDS
	(μm)	(μm)	(nm)	(nm)	(nm)	($\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$)
Ej1 Comp	9,03	10,19	1260	1199	1316	0,086

Ej1	9,03	10,17	1261	1203	1316	0,087
Ej2 Comp	8,77	9,85	1232	1182	1320	0,089
Ej2	8,76	9,82	1235	1182	1320	0,090
Ej3 Comp	8,76	9,80	1369	1232	1317	0,089
Ej3	8,77	9,80	1375	1232	1317	0,090

La **Tabla 3** (mostrada) muestra pérdidas de curvatura para fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción representados en la **Tabla 1** para las longitudes de onda de 1550 nanómetros y 1625 nanómetros para radios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7,5 milímetros y 5 milímetros, tales como:

- R15 mm macro pérdida de curvatura en 1550 nm (R15BL a 1550), expresado en dB/10T, donde 10T indica 10 vueltas;
- R10 mm macro pérdida de curvatura en 1550 nm (R10BL a 1550), expresado en dB/1T, donde 1T indica 1 vuelta;
- R7.5 mm macro pérdida de curvatura en 1550 nm (R7.5BL a 1550), expresado en dB/1T, donde 1T indica 1 vuelta;
- R5 mm macro pérdida de curvatura en 1550 nm (R5BL a 1550), expresado en dB/1T, donde 1T indica 1 vuelta;
- R15 mm macro pérdida de curvatura en 1625 nm (R15BL a 1625), expresado en dB/10T, donde 10T indica 10 vueltas;
- R10 mm macro pérdida de curvatura en 1625 nm (R10BL a 1625), expresado en dB/1T, donde 1T indica 1 vuelta;
- R7.5 mm macro pérdida de curvatura en 1625 nm (R7.5BL a 1625), expresado en dB/1T, donde 1T indica 1 vuelta;
- R5 mm macro pérdida de curvatura en 1625 nm (R5BL a 1625), expresado en dB/1T, donde 1T indica 1 vuelta.

TABLA 3

	R15BL a 1550	R10BL a 1550	R7.5BL a 1550	R5BL a 1550	R15BL a 1625	R10BL a 1625	R7.5BL a 1625	R5BL a 1625
	(dB/10T)	(dB/1T)	(dB/1T)	(dB/1T)	(dB/10T)	(dB/1T)	(dB/1T)	(dB/1T)
Ej1 Comp	0,034	0,230	1,7	11	0,2	0,72	3,7	17
Ej1	0,022	0,17	1,3	9	0,14	0,54	3,0	15
Ej2 Comp	0,021	0,045	0,16	0,49	0,11	0,13	0,35	0,88
Ej2	0,015	0,036	0,14	0,43	0,080	0,11	0,30	0,77
Ej3 Comp	0,0054	0,0097	0,031	0,089	0,030	0,029	0,071	0,17
Ej3	0,0046	0,0086	0,028	0,080	0,026	0,026	0,064	0,16

De acuerdo con las **Tablas 2 y 3** (anteriores), las fibras ópticas de acuerdo con las realizaciones de la invención muestran pérdidas de curvatura, que son menores que las fibras ópticas comparativas, que tienen un perfil de salto de índice. Además, las presentes fibras ópticas típicamente tienen sustancialmente la misma (i) longitud de onda de corte de cable, (ii) longitud de onda de dispersión cromática cero (ZDW), (iii) pendiente de dispersión cero (ZDS), y (iv) diámetro de campo modal (MFD) que las fibras ópticas comparativas.

Los tres ejemplos de perfil de índice de refracción Ej1, Ej2, y Ej3 de acuerdo con las realizaciones de la invención, descritos en las **Tablas 1 a 3**, así como en las **figuras 1 y 2** para Ej1 y Ej2, cumplen con la recomendación ITU-T G. 652.

Como un recordatorio, la recomendación ITU-T G.652 describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra óptica y cable monomodo, que tiene longitud de onda de dispersión cero alrededor de 1310 nm. La fibra ITU-T G.652 se optimizó originalmente para su uso en la región de longitud de onda 1310 nm, pero puede usarse también en la región de 1550 nm. La **Tabla 4** a continuación resume los atributos de fibra para la mejor categoría de fibras G. 652, referenciada como G.652.D (fuente recomendación ITU-T G. 652, noviembre de 2009). El diseño de perfil de refracción desempeña un papel en los siguientes parámetros en esta tabla: Diámetro de campo modal en 1310 nm (MFD1310), corte de cable (CCO), R30 mm macro pérdida de curvatura en 1625 nm (R30BL1625), longitud de onda de dispersión cero (λ_0 o ZDW) y pendiente de dispersión cero (S_0 o ZDS).

TABLA 4

Atributos de fibra		
Atributo	Detalle	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Intervalo de valores nominales	8,6-9,5 μ m
	Tolerancia	$\pm 0,6$ μ m
Diámetro de revestimiento	Nominal	125,0 μ m

	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad de núcleo	Máximo	$0,6 \mu\text{m}$
No circularidad de revestimiento	Máximo	1,0 %
Longitud de onda de corte de cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macrocurvatura	Radio	30 mm

(continuación)

Atributos de fibra		
Atributo	Detalle	Valor
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Tensión de prueba	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	$0,092 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$

La segunda y tercera realizaciones de ejemplo de la invención Ej2 y Ej3 también cumplen con la ITU-T Rec G. 657. A2 Categoría de fibra insensible a la curvatura. La tercera realización de ejemplo de la invención Ej3 también cumple con la ITU-T Rec G. 657.B3 categoría de fibra insensible a curvatura.

- 5 Como ya se ha indicado anteriormente en el sumario de la invención, los perfiles de índice de refracción detallados en las **figuras 1 y 2** así como en las **Tablas 1 a 3** se consiguen a través de un cambio cuidadoso y gradual en la concentración de múltiples dopantes en la parte de transición del núcleo trapezoidal.

10 Un experto en la materia entenderá fácilmente que estos dopantes, excepto el flúor, están presentes en la matriz de sílice (SiO_2) en forma de óxidos. Por lo tanto, a través de todo el presente documento, el uso de germanio como dopante significa, por ejemplo, el uso de dióxido de germanio (GeO_2).

Los siguientes ejemplos se centran en el uso de germanio y flúor como dopantes en una fibra monomodo de acuerdo con las realizaciones de la invención.

15 La **Tabla 5** (a continuación) muestra las pérdidas de dispersión de Rayleigh en 1550 nanómetros para veinte perfiles de fibra de núcleo trapezoidal de ejemplo de acuerdo con la presente invención. Estos veinte perfiles de fibra de núcleo de ejemplo corresponden a las tres realizaciones de ejemplo Ej1 a Ej3 anteriormente descritas, cuando se consideran diferentes casos dopantes, es decir, diferentes escenarios de co-dopaje.

20 Los valores dados en la **Tabla 5** corresponden a pérdidas de dispersión de Rayleigh calculadas gracias a la ecuación (1) en el documento "Rayleigh Scattering Reduction Method for Silica-Based Optical Fiber", Journal of Lightwave Technology, Vol. 18, N.º 11 de noviembre de 2000 por Kyoza Tsujikawa et al. En este documento, el coeficiente de dispersión de Rayleigh de GeO_2 y vidrio de sílice co-dopado con flúor $A_{\text{GeO}_2\text{-F}}$ se informa que es:

$$A_{\text{GeO}_2\text{-F}} = A_{\text{SiO}_2}(1 + 0,62[\text{GeO}_2] + 0,60[F]^2 + 0,44[\text{GeO}_2][F]^2)$$

donde A_{SiO_2} es el coeficiente de dispersión de Rayleigh del vidrio de sílice puro, y donde $[\text{GeO}_2]$ y $[F]$ corresponden a las diferencias de índice de refracción relativas entre las muestras y el vidrio de sílice puro inducido por GeO_2 y flúor respectivamente, como una medida de concentración de dopante.

25 En la **Tabla 5**, el valor del coeficiente de Rayleigh de vidrio de sílice puro A_{SiO_2} es $0,81 \text{ dB/km} \cdot \mu\text{m}^4$, y consideramos un aumento de índice de extracción de $+0,4 \times 10^{-3}$. La primera columna identifica las fibras ópticas de ejemplo y comparativas. De las columnas tercera a decimocuarta corresponden a cada uno de los doce escenarios de co-dopaje, que hemos investigado, referenciados como del Caso1 al Caso12. La parte superior de la **Tabla 5**, en concreto de la segunda a la octava líneas, destaca la presencia de dopantes en las diferentes partes de la fibra óptica. Por lo tanto:

- la segunda línea indica la concentración en flúor en la parte central del núcleo, expresada como un índice delta;
- la tercera línea indica la concentración en germanio en la parte central del núcleo, expresada como un índice delta;
- la cuarta línea indica la concentración en germanio en el revestimiento intermedio, expresada como un índice delta;
- la quinta línea indica la concentración en flúor en el revestimiento intermedio expresada como un índice delta;
- la sexta línea indica la concentración en germanio en la trinchera expresada como un índice delta;
- la séptima línea indica la concentración en flúor en el revestimiento exterior;
- la octava línea indica si se consigue el cambio de índice de refracción en la parte de transición del núcleo a través de una rampa de germanio y flúor doble (Ge+F), a través de una única rampa de flúor (F únicamente) o a

través de una única rampa de germanio (Ge únicamente).

Rayleigh @1550 nm (dB/km)

TABLA 5

		Rayleigh @1550 nm (bB/km)											
		Caso1	Caso2	Caso3	Caso4	Caso5	Caso6	Caso7	Caso8	Caso9	Caso10	Caso11	Caso12
	F-núcleo superior	0	-2	0	0	0	$\Delta n_2-0,4$	0	0	0	0	0	0
	Ge-Núcleo superior	$\Delta n_0-0,4$	$\Delta n_0+2-0,4$	$\Delta n_0-0,4$	$\Delta n_0-0,4$	$\Delta n_0-0,4$	$\Delta n_0-\Delta n_2$	$\Delta n_0-3,9$	$\Delta n_0-4,9$	$\Delta n_0-5,4$	$\Delta n_0-3,9$	$\Delta n_0-4,9$	$\Delta n_0-5,4$
	Ge-Int Rev	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F-Int Rev	$\Delta n_2-0,4$	$\Delta n_2-0,4$	$\Delta n_2-2-0,4$	$\Delta n_2-0,4$	$\Delta n_2-0,4$	$\Delta n_2-0,4$	$\Delta n_2-3,9$	$\Delta n_2-4,9$	$\Delta n_2-5,4$	$\Delta n_2-3,9$	$\Delta n_2-4,9$	$\Delta n_2-5,4$
	Trinchera Ge	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	F-Ext Rev	0	0	0	0	0	0	-3,5	-4,5	-5	-3,5	-4,5	-5
	Rampa de transición	Ge+F	Ge+F	Ge+F	Ge+F	F únicamente	Ge únicamente	Ge+F	Ge+F	Ge+F	F únicamente	F únicamente	F únicamente
Ej1 Comp	(1)	0,16251	0,17321	0,16578	0,16266	0,16251	0,16251	0,14801	0,14430	0,14251	0,14801	0,14430	0,14251
Ej1	(2)	0,16331	0,17383	0,16666	0,16345	0,16985	0,16652	0,14880	0,14496	0,14309	0,15105	0,14583	0,14325
	(2-1)x1000	0,80	0,62	0,88	0,79	7,34	4,01	0,79	0,66	0,58	3,04	1,53	0,74
Ej2 Comp	(3)	0,16130	0,17142	0,16520	0,16138	0,16130	0,16130	0,14783	0,14449	0,14290	0,14783	0,14449	0,14290
Ej2	(4)	0,16201	0,17185	0,16603	0,16207	0,16914	0,16387	0,14862	0,14518	0,14352	0,15110	0,14615	0,14371
	(4-3)x1000	0,71	0,43	0,83	0,69	7,84	2,57	0,79	0,69	0,62	3,27	1,66	0,81
Ej 3 Comp	(5)	0,16150	0,17179	0,16528	0,16157	0,16150	0,16150	0,14779	0,14435	0,14271	0,14779	0,14435	0,14271
Ej 3	(6)	0,16207	0,17211	0,16597	0,16214	0,16904	0,16469	0,14843	0,14489	0,14318	0,15077	0,14573	0,14324
	(6-5)x1000	0,57	0,32	0,69	0,57	7,54	3,19	0,64	0,54	0,47	2,98	1,38	0,53

Caso 1 corresponde a una fibra monomodo sin flúor en la parte central del núcleo, ni germanio, ni en el revestimiento intermedio ni en la trinchera, y sin flúor en el revestimiento exterior. La parte central del núcleo contiene germanio con una concentración de $\Delta n_0-0,4$ y el revestimiento intermedio contiene flúor con una concentración $\Delta n_2-0,4$. Un cambio lineal de co-dopaje de germanio y flúor doble desde la parte central del núcleo hasta el revestimiento intermedio induce el cambio de índice de refracción en la parte de transición del núcleo. La **Figura 3** ilustra el perfil de co-dopaje del Caso 1 para la primera realización de ejemplo de la invención Ej1, y muestra el perfil de índice de refracción global de la fibra, así como la composición de germanio (perfil Ge) y la composición de flúor (perfil F) dadas en la unidad de índice de refracción. En otras palabras, cuando se indica una concentración de germanio de $+1 \times 10^{-3}$, esto significa que la concentración de germanio induce un aumento de índice de refracción de $+1 \times 10^{-3}$. El enlace entre una concentración de dopante en la parte de la fibra y el cambio de índice de refracción que induce puede entenderse leyendo "Refractive Index of Doped and Undoped PCVD Bulk Silica", Mat. Res. Bull., Vol. 24, págs. 1083-1097, 1989, por W. Hermann y D. U. Wiechert.

Caso 2 corresponde a una fibra monomodo con una concentración de flúor en la parte central del núcleo que induce una reducción de índice de refracción de -2×10^{-3} , sin germanio, ni en el revestimiento intermedio ni en la trinchera, y sin flúor en el revestimiento exterior. La parte central del núcleo contiene germanio con una concentración de $\Delta n_0+2-0,4$ y el revestimiento intermedio contiene flúor con una concentración $\Delta n_2-0,4$. Un cambio lineal de co-dopaje de germanio y flúor doble desde la parte central del núcleo hasta el revestimiento intermedio induce el cambio de índice de refracción en la parte de transición del núcleo. La **Figura 4** ilustra el perfil de co-dopaje del Caso 2 para la primera realización de ejemplo de la invención Ej1, y muestra el perfil de índice de refracción global de la fibra, así como la composición de germanio (perfil Ge) y la composición de flúor (perfil F) dadas en la unidad de índice de refracción.

Caso 3 corresponde a una fibra monomodo sin flúor en la parte central del núcleo, una concentración de germanio en el revestimiento intermedio que induce un aumento de índice de refracción de $+2 \times 10^{-3}$, sin germanio en la trinchera, y sin flúor en el revestimiento exterior. La parte central del núcleo contiene germanio con una concentración de $\Delta n_0-0,4$ y el revestimiento intermedio contiene flúor con una concentración $\Delta n_2-2-0,4$. Un cambio lineal de co-dopaje de germanio y flúor doble desde la parte central del núcleo hasta el revestimiento intermedio induce el cambio de índice de refracción en la parte de transición del núcleo. La **Figura 5** ilustra el perfil de co-dopaje del Caso 3 para la primera realización de ejemplo de la invención Ej1, y muestra el perfil de índice de refracción global de la fibra, así como la composición de germanio (perfil Ge) y la composición de flúor (perfil F) dadas en la unidad de índice de refracción.

Caso 4 corresponde a una fibra monomodo sin flúor en la parte central del núcleo, sin germanio en el revestimiento intermedio, una concentración de germanio en la trinchera que induce un aumento de índice de refracción de $+2 \times 10^{-3}$, y sin flúor en el revestimiento exterior. La parte central del núcleo contiene germanio con una concentración de $\Delta n_0-0,4$ y el revestimiento intermedio contiene flúor con una concentración $\Delta n_2-0,4$. Un cambio lineal de co-dopaje de germanio y flúor doble desde la parte central del núcleo hasta el revestimiento intermedio induce el cambio de índice de refracción en la parte de transición del núcleo. La **Figura 6** ilustra el perfil de co-dopaje del Caso 3 para la primera realización de ejemplo de la invención Ej1, y muestra el perfil de índice de refracción global de la fibra, así como la composición de germanio (perfil Ge) y la composición de flúor (perfil F) dadas en la unidad de índice de refracción.

Caso 5 corresponde a una fibra monomodo sin flúor en la parte central del núcleo, ni germanio, ni en el revestimiento intermedio ni en la trinchera, y sin flúor en el revestimiento exterior. La concentración de germanio en la parte de transición del núcleo está fijada al mismo nivel que en la parte central del núcleo. La parte central del núcleo contiene germanio con una concentración de $\Delta n_0-0,4$ y el revestimiento intermedio contiene flúor con una concentración $\Delta n_2-0,4$. Un cambio lineal de dopaje de flúor único desde la parte central del núcleo hasta el revestimiento intermedio induce el cambio de índice de refracción en la parte de transición del núcleo. La **Figura 7** ilustra el perfil de co-dopaje del Caso 1 para la primera realización de ejemplo de la invención Ej1, y muestra el perfil de índice de refracción global de la fibra, así como la composición de germanio (perfil Ge) y la composición de flúor (perfil F) dadas en la unidad de índice de refracción.

Caso 6 corresponde a una fibra monomodo sin germanio, ni en el revestimiento intermedio ni en la trinchera, y sin flúor en el revestimiento exterior. La concentración de flúor en el núcleo está fijada al mismo nivel que en el revestimiento intermedio, es decir $\Delta n_2-0,4$. La parte central del núcleo contiene germanio con una concentración de $\Delta n_0-\Delta n_2$. Un cambio lineal de dopaje de germanio único desde la parte central del núcleo hasta el revestimiento intermedio induce el cambio de índice de refracción en la parte de transición del núcleo. La **Figura 8** ilustra el perfil de co-dopaje del Caso 1 para la primera realización de ejemplo de la invención Ej1, y muestra el perfil de índice de refracción global de la fibra, así como la composición de germanio (perfil Ge) y la composición de flúor (perfil F) dadas en la unidad de índice de refracción.

Casos 7 a 12 corresponden a fibras monomodo sin flúor en la parte central del núcleo, y sin germanio, ni en el revestimiento intermedio ni en la trinchera. Sin embargo, en estos casos, el revestimiento exterior está dopado con flúor, permitiendo por lo tanto cambiar las composiciones dopantes, ya que el revestimiento exterior es la referencia para el índice delta. Esto permite especialmente reducir significativamente el delta de índice de germanio en la parte central del núcleo, que es bien conocido que es útil para reducir la dispersión de Rayleigh. Pueden usarse capas de sílice puro en el extremo del revestimiento exterior (es decir para radio de 30 μm o mayor). Las líneas 3 y 5 en la **Tabla 5** indican la concentración en germanio en la parte central del núcleo (expresada como una función del índice

de refracción delta de la parte central del núcleo Δn_0) y la concentración en flúor en el revestimiento intermedio (expresada como una función del índice de refracción delta del revestimiento intermedio Δn_2) para cada uno de estos casos 7 a 12.

5 La **Tabla 6** (a continuación) proporciona la misma estimación de las pérdidas de dispersión de Rayleigh, para las mismas doce realizaciones de ejemplo, sin considerar el aumento de índice en la extracción.

TABLA 6

		Rayleigh @1550 nm (dB/km)											
		Caso1	Caso2	Caso3	Caso4	Caso5	Caso6	Caso7	Caso8	Caso9	Caso10	Caso11	Caso12
	F-núcleo superior	0	-2	0	0	0	Min(Δn_2 ;0)	0	0	0	0	0	0
	Ge-Núcleo superior	Δn_0	Δn_0+2	Δn_0	Δn_0	Δn_0	Δn_0	$\Delta n_0-3,5$	$\Delta n_0-4,5$	$\Delta n_0-5,0$	$\Delta n_0-3,5$	$\Delta n_0-4,5$	$\Delta n_0-5,0$
	Ge-Int Rev	Máx(Δn_2 ;0)		2		Máx(Δn_2 ;0)		0	0	0	0	0	0
	F-Int Rev	Min(Δn_2 ;0)		Δn_2-2		Min(Δn_2 ;0)		$\Delta n_2-3,5$	$\Delta n_2-4,5$	$\Delta n_2-5,0$	$\Delta n_2-3,5$	$\Delta n_2-4,5$	$\Delta n_2-5,0$
	Trinchera Ge	0	0		2	0	0	0	0	0	0	0	0
	F-Ext Rev	0	0	0	0	0	0	-3,5	-4,5	-5	-3,5	-4,5	-5
	Rampa de transición	Ge+F	Ge+F	Ge+F	Ge+F	F	Ge	Ge+F	Ge+F	Ge+F	F	F	F
						únicamente	únicamente				únicamente	únicamente	únicamente
Ej1 Comp	(1)	0,1644 3	0,1751 5	0,1674 2	0,1645 7	0,1644 3	0,1644 3	0,1495 5	0,1457 6	0,1439 4	0,1495 5	0,1457 6	0,1439 4
Ej1	(2)	0,1650 8	0,1755 7	0,1683 1	0,1652 1	0,1720 5	0,1663 4	0,1503 7	0,1464 8	0,1445 9	0,1531 6	0,1479 1	0,1453 1
	(2-1)x1000	0,65	0,42	0,89	0,64	7,62	1,91	0,82	0,72	0,65	3,61	2,15	1,37
Ej2 Comp	(3)	0,1633 7	0,1735 2	0,1667 2	0,1634 5	0,1633 7	0,1633 7	0,1492 3	0,1458 0	0,1441 7	0,1492 3	0,1458 0	0,1441 7
Ej2	(4)	0,1636 7	0,1734 8	0,1675 4	0,1637 4	0,1712 7	0,1637 8	0,1500 5	0,1465 4	0,1448 5	0,1531 1	0,1481 2	0,1456 6
	(4-3)x1000	0,30	-0,04	0,82	0,29	7,90	0,41	0,82	0,74	0,68	3,88	2,32	1,49
Ej 3 Comp	(5)	0,1633 9	0,1737 1	0,1668 3	0,1634 6	0,1633 9	0,1633 9	0,1492 2	0,1457 0	0,1440 2	0,1492 2	0,1457 0	0,1440 2
Ej 3	(6)	0,1637 6	0,1737 6	0,1675 1	0,1638 2	0,1711 9	0,1645 4	0,1498 9	0,1462 9	0,1445 5	0,1528 1	0,1477 4	0,1452 3
	(6-5)x1000	0,37	0,05	0,68	0,36	7,80	1,15	0,67	0,59	0,53	3,59	2,04	1,21

En los casos 1, 2, 4, 5 y 6, en los ejemplos comparativos y sin aumento de índice en el dibujo (**Tabla 6**), el revestimiento intermedio delta es ligeramente positivo. Como consecuencia, se introducen concentraciones muy pequeñas de germanio en el revestimiento intermedio (0,08, 0,22 y 0,10 para los respectivos ejemplos comparativos Ej1 Comp, Ej2 Comp y Ej3 Comp). En estos ejemplos comparativos, los revestimientos intermedios no incluyen flúor alguno.

En realidad, como se indica en la **Tabla 6**, línea 4, la concentración de germanio en el revestimiento intermedio se establece en $\text{Máx}(\Delta n_2; 0)$ para los casos 1, 2, 4, 5 y 6, mientras que la línea 5 indica que la concentración de flúor en el revestimiento intermedio se establece en $\text{Mín}(\Delta n_2; 0)$ para estos casos. Como consecuencia, cuando el índice de refracción delta del revestimiento intermedio Δn_2 es positivo, la concentración de germanio en el revestimiento intermedio se establece en Δn_2 ($\text{Máx}(\Delta n_2; 0) = \Delta n_2$) y la concentración de flúor en el revestimiento intermedio se establece en 0 ($\text{Mín}(\Delta n_2; 0) = 0$). En el caso opuesto, cuando el índice de refracción delta del revestimiento intermedio Δn_2 es negativo, la concentración de germanio en el revestimiento intermedio se establece en 0 ($\text{Máx}(\Delta n_2; 0) = 0$) y la concentración de flúor en el revestimiento intermedio se establece en Δn_2 ($\text{Mín}(\Delta n_2; 0) = \Delta n_2$).

Por medio de un ejemplo numérico, como puede observarse en la **figura 4**, el índice delta de la parte central del núcleo es $5,51 \times 10^{-3}$, que incluye un contenido de flúor de $-2,00 \times 10^{-3}$. En la **Tabla 5**, esto se hace gracias a $+7,11 \times 10^{-3}$ de germanio, $-2,00 \times 10^{-3}$ de flúor y contabilizando un aumento de índice en la extracción de $0,4 \times 10^{-3}$ (en realidad, $5,51 \times 10^{-3} = +7,11 \times 10^{-3} - 2,00 \times 10^{-3} + 0,4 \times 10^{-3}$).

En la **Tabla 6**, esto se hace gracias a $+7,51 \times 10^{-3}$ de germanio, -200×10^{-3} de flúor y no contabilizando aumento de índice en la extracción (en realidad, $5,51 \times 10^{-3} = +7,51 \times 10^{-3} - 2,00 \times 10^{-3}$).

Como puede observarse a partir de las Tablas 5 y 6, en todos los casos de rampa de germanio y flúor doble, las pérdidas de dispersión de Rayleigh en aumento de 1550 nm de menos de 0,001 dB/km para las fibras monomodo de núcleo trapezoidal de ejemplo de acuerdo con la invención en comparación con los casos de índice de paso equivalente.

Excepto en el caso 6 de la segunda realización de ejemplo Ej2 en la Tabla 6 y en el caso 12 en la Tabla 5, este aumento es mayor que 0,001 dB/km en los casos de rampa sencillos.

En realidad, como puede observarse en la **Tabla 5**, los ejemplos de rampa únicos de los casos 5 y 6 no son aceptables, ya que pueden conducir a un aumento grave en la dispersión de Rayleigh, para las realizaciones de ejemplo Ej1, Ej2 y Ej3 en comparación con los ejemplos comparativos Ej1 Comp, Ej2 Comp y Ej3 Comp. En lo que respecta al caso 12, puede observarse que únicamente es aceptable una rampa sencilla para una concentración baja en germanio en la parte central del núcleo, en concreto por debajo de $0,6 \times 10^{-3}$.

En lo que respecta a la Tabla 6, los ejemplos de rampa sencilla del caso 5 (para todas las realizaciones de ejemplo Ej1 a Ej3) y del caso 6 para la primera realización de ejemplo Ej1, no son aceptables ya que conducen a un aumento grave en dispersión de Rayleigh. En lo que respecta al ejemplo de rampa sencilla del caso 6, únicamente proporciona resultados aceptables en términos de dispersión de Rayleigh para la segunda y tercera realizaciones de ejemplo Ej2 y Ej3 para una concentración baja de flúor en el revestimiento intermedio, en concreto por debajo de $-0,20 \times 10^{-3}$. El ejemplo de rampa sencilla del caso 12 es únicamente aceptable para una concentración baja en germanio en la parte central del núcleo, en concreto por debajo de $0,6 \times 10^{-3}$.

Se prefieren por lo tanto los perfiles obtenidos con los casos de rampa doble ya que garantizan el aumento de Rayleigh de menos de 0,002, o 0,001 dB/km, en comparación con los casos de índice de paso equivalente.

La parte de transición del núcleo (que varía del radio r_0 al radio debería producirse por lo tanto aplicando una transición suave de los dos (o más) dopantes presentes.

Además, el contenido de flúor en el revestimiento debería ser preferentemente $-0,20 \times 10^{-3}$ o menor, ya que la ganancia de Rayleigh para una rampa de flúor-germanio doble en comparación con una única rampa es de -1 mdB/km o menor. Más en general, la invención ayuda cuando un dopante que induce un índice de refracción menor que el sílice está presente en el revestimiento e induce una reducción de índice de refracción de $-0,20 \times 10^{-3}$ o menor.

El contenido de germanio en la parte central del núcleo debería también ser preferentemente $+0,60 \times 10^{-3}$ o mayor, ya que la ganancia de Rayleigh para una rampa de flúor-germanio doble en comparación con una rampa sencilla es de -1 mdB/km o menor. Más en general, la invención ayuda cuando un dopante que induce un índice de refracción mayor que el sílice está presente en la parte central del núcleo e induce un aumento de índice de refracción del $+0,60 \times 10^{-3}$ o mayor.

Presentamos ahora herramientas y procedimientos interesantes para definir intervalos de perfil aceptables para fibras ópticas monomodo de acuerdo con la invención.

Cada sección de perfil de fibra óptica puede definirse usando integrales de superficie e integrales de volumen. El término "superficie" no debería entenderse geoméricamente, sino, en su lugar, debería entenderse como un valor que tiene dos dimensiones. De manera similar, el término "volumen" no debería entenderse geoméricamente, sino,

en su lugar, debería entenderse como un valor que tiene tres dimensiones.

Por consiguiente, la parte central del núcleo central puede definir una integral de la superficie V_{01} y la trinchera puede definir una integral de la superficie V_{03} respectivamente definida mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx \frac{\Delta n_0 \cdot (r_1 + r_0) + \Delta n_2 \cdot (r_1 - r_0)}{2}$$

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3$$

5

Además, la parte central del núcleo central puede definir una integral del volumen V_{11} , y la trinchera puede definir una integral del volumen V_{13} definida mediante las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx \frac{\Delta n_0 \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_0 + r_0^2) + \Delta n_2 \cdot (2r_1^2 - r_1 \cdot r_0 - r_0^2)}{3}$$

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3$$

- 10 La **Tabla 7** (a continuación) completa la **Tabla 1** (anterior) con los valores de las integrales de superficie y volumen V_{01} , V_{03} , V_{11} y V_{13} anteriormente descritas para la primera, segunda y tercera realizaciones de ejemplo de la invención Ej1, Ej2 y Ej3, así como para sus fibras monomodo únicas de salto de índice comparativas Ej1 Comp, Ej2 Comp y Ej3 Comp. Todos los ejemplos en la **Tabla 7** por lo tanto son los mismos que en la **Tabla 1**. Los valores en la **Tabla 7** corresponden a los perfiles de índice de refracción teóricos.
- 15 La primera columna en la **Tabla 7** enumera las fibras ópticas de ejemplo y comparativas. La segunda columna proporciona el valor de la relación r_0/r_1 de la parte central del radio del núcleo r_0 a la parte de transición del radio exterior del núcleo r_1 . Las siguientes cuatro columnas proporcionan los radios de la parte central del núcleo, la parte de transición del núcleo, el revestimiento intermedio, y la trinchera enterrada. Las siguientes tres columnas proporcionan las correspondientes diferencias de índice relativas al revestimiento exterior. Finalmente, las últimas
- 20 cuatro columnas proporcionan respectivos valores para las integrales de superficie y volumen V_{01} , V_{03} , V_{11} y V_{13} . Como anteriormente, las diferencias de índices de refracción y las integrales en la **Tabla 7** se han multiplicado por 1000. Los valores de índice de refracción se midieron en una longitud de onda de 633 nanómetros.

TABLA 7

	relación r0/r1	r0 (μm)	r1 (μm)	r2 (μm)	r3 (μm)	Dn0x1000 (-)	Dn2x1000 (-)	Dn3x1000 (-)	V01x1000 (μm)	V03x1000 (μm)	V11x1000 (μm^2)	V13x1000 (μm^2)
Ej1 Comp	1	4,23	4,23	8,91	13,49	5,28	0,08	-0,4	22,3	-1,8	94	-41
Ej1	0,5	2,9	5,8	8,91	13,49	5,51	-0,27	-0,4	23,6	-1,8	104	-41
Ej2 Comp	1	3,85	3,85	9,29	13,21	5,27	0,22	-7,03	20,3	-27,6	78	-620
Ej2	0,5	2,61	5,21	9,29	13,21	5,52	-0,03	-7,03	21,5	-27,6	87	-620
Ej3 Comp	1	3,91	3,91	9,23	14,81	5,23	0,1	-7,15	20,4	-39,9	80	-959
Ej3	0,5	2,65	5,31	9,23	14,81	5,44	-0,18	-7,15	21,4	-39,9	87	-959

La **Tabla 8** (a continuación) representa nueve perfiles de fibra de núcleo con forma trapezoidal de ejemplo de acuerdo con la presente invención. Obsérvese que los ejemplos 1-3 en la **Tabla 8** son los mismos que en la **Tabla 7**. Los valores en la **Tabla 8** corresponden a los perfiles de índice de refracción teóricos. La estructura de la **Tabla 8** es la misma que la de la **Tabla 7** y por lo tanto, no se recuerda, por motivos de simplicidad.

- 5 Los nuevos ejemplos dados en la **Tabla 8** se obtienen cuando se juega con la relación r_0/r_1 .

TABLA 8

	relación r0/r1	r0 (µm)	r1 (µm)	r2 (µm)	r3 (µm)	Dn0x1000 (-)	Dn2x1000 (-)	Dn3x1000 (-)	V01x1000 (µm)	V03x1000 (µm)	V11x1000 (µm²)	V13x1000 (µm²)
Ej1	0,50	2,9	5,8	8,91	13,49	5,51	-0,27	-0,4	23,6	-1,8	104	-41
Exibis	0,30	2,16	7,2	8,91	13,49	5,73	-1,14	-0,4	23,9	-1,8	106	-41
Exlter	0,70	3,5	5,01	8,91	13,49	5,35	-0,01	-0,4	22,8	-1,8	98	-41
Ej2	0,50	2,61	5,21	9,29	13,21	5,52	-0,03	-7,03	21,5	-27,6	87	-620
Ex2bis	0,30	1,86	6,19	9,29	13,21	5,82	-0,48	-7,03	22,4	-27,6	94	-620
Ex2ter	0,70	3,18	4,54	9,29	13,21	5,35	0,17	-7,03	20,8	-27,6	81	-620
Ej3	0,50	2,65	5,31	9,23	14,81	5,44	-0,18	-7,15	21,4	-39,9	87	-959
Ej3bis	0,30	1,91	6,38	9,23	14,81	5,69	-0,8	-7,15	21,8	-39,9	90	-959
Ej3ter	0,70	3,23	4,62	9,23	14,81	5,3	0,03	-7,15	20,8	-39,9	83	-959

Las fibras ópticas de acuerdo con las realizaciones de la invención típicamente tienen las siguientes propiedades:

- una relación r_0/r_1 de la parte central del radio del núcleo a la parte de transición del radio del núcleo que varía preferentemente entre 0,25 y 0,75;
- una integral de superficie de núcleo central V_{01} que varía preferentemente entre aproximadamente $19 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ y aproximadamente $25 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$;
- una integral de superficie de trinchera enterrada V_{03} que varía preferentemente entre $-55 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ y 0;
- una integral de volumen de núcleo central V_{11} que varía preferentemente entre $80 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $105 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$;
- una integral de volumen de trinchera enterrada V_{13} que varía preferentemente entre $-1200 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y 0.

La **Tabla 9** (a continuación) muestra características de transmisión óptica para fibras ópticas que tienen el perfil de índices de refracción representados en la **Tabla 8**.

TABLA 9

	MFD 1310	MFD 1550	FCO	CCO	ZDW	ZDS
	(μm)	(μm)	(nm)	(nm)	(nm)	(ps/nm ² -km)
Ej1	9,03	10,17	1261	1203	1316	0,087
Ej1bis	9,08	10,20	1254	1199	1317	0,089
Ej1ter	9,03	10,18	1259	1200	1316	0,086
Ej2	8,76	9,82	1235	1182	1320	0,090
Ex2bis	8,79	9,85	1242	1182	1320	0,092
Ex2ter	8,77	9,85	1233	1182	1320	0,089
Ej3	8,77	9,80	1375	1232	1317	0,091
Ej3bis	8,78	9,81	1383	1231	1317	0,092
Ej3ter	8,76	9,8	1371	1232	1317	0,090

La **Tabla 10** (a continuación) muestra pérdidas de curvatura para fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción representados en la **Tabla 8**.

TABLA 10

	R15BL a 1550	R10BL a 1550	R7.5BL a 1550	R5BL a 1550	R15BL a 1625	R10BL a 1625	R7.5BL a 1625	R5BL a 1625
	(dB/10T)	(dB/1T)	(dB/1T)	(dB/1T)	(dB/10T)	(dB/1T)	(dB/1T)	(dB/1T)
Ej1	0,022	0,17	1,3	9	0,14	0,54	3,0	15
Ej1bis	0,023	0,17	1,2	8	0,14	0,52	2,8	13
Ej1ter	0,030	0,22	1,6	11	0,19	0,67	3,5	17
Ej2	0,015	0,036	0,14	0,43	0,080	0,11	0,30	0,77
Ex2bis	0,013	0,031	0,12	0,38	0,073	0,094	0,27	0,69
Ex2ter	0,018	0,041	0,15	0,47	0,099	0,12	0,33	0,84
Ej3	0,0046	0,0086	0,028	0,080	0,026	0,026	0,064	0,16
Ej3bis	0,0053	0,0086	0,027	0,074	0,029	0,026	0,061	0,14
Ej3ter	0,0050	0,0092	0,030	0,086	0,028	0,027	0,069	0,17

La **Figura 9** muestra de manera esquemática un procedimiento de fabricación de una fibra óptica que comprende una primera etapa 10 de deposición química de vapor para formar una varilla de núcleo. Durante la deposición química de vapor dopado o no dopado se depositan capas de vidrio. Las capas de vidrio depositadas forman el perfil de índice de refracción de núcleo de la fibra óptica final y opcionalmente el perfil de índice de refracción de la parte interna del revestimiento. En una segunda etapa 11 la varilla de núcleo se proporciona con un sobrecubrimiento exterior para aumentar su diámetro para formar una preforma. El sobrecubrimiento puede derivarse de tubos de sílice pre-formados o mediante deposición de capas de vidrio en la circunferencia externa de la varilla del núcleo. Podrían usarse diversas técnicas para proporcionar un sobrecubrimiento mediante deposición de capas de vidrio, tales como deposición de vapor exterior (OVD) o deposición de plasma y vapor avanzada (APVD). En una tercera etapa 12 la fibra óptica se obtiene extrayendo la preforma en una torre de extracción de fibra.

Para fabricar el núcleo-varilla, se monta un tubo o sustrato horizontalmente y se sujeta en un torno de fabricación de vidrio. Posteriormente, el tubo o sustrato se rota y calienta o se le da energía localmente para depositar componentes que determinan la composición del núcleo-varilla. Los expertos en la materia apreciarán que la composición del núcleo-varilla determina las características ópticas de la fibra.

5 En este sentido, tanto la parte central como la parte de transición del núcleo, el revestimiento intermedio y la trinchera se obtienen típicamente usando deposición química de vapor de plasma (PCVD) o deposición química de vapor de horno (FCVD), que posibilita que se incorporen grandes cantidades de flúor y germanio en el sílice y que posibilitan un cambio gradual de sus concentraciones en la parte de transición del núcleo. La técnica de PCVD se describe, por ejemplo, en el documento de patente US Re30.635 o US 4.314.833.

Podrían usarse también otras técnicas para formar el núcleo-varilla, tal como deposición axial de vapor (VAD) o deposición de vapor exterior (OVD).

10 Las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención son bien adecuadas para su uso en diversos sistemas de comunicación óptica, y son de uso particularmente ventajoso, ya que muestran pérdidas de dispersión reducidas debido a cambios de índice, con buenas características de dispersión de Rayleigh. Son particularmente adecuadas para sistemas de transmisión terrestre, así como para sistemas de fibra-hasta-el-hogar (FTTH).

15 Además, son típicamente compatibles con fibras ópticas convencionales, que las hacen apropiadas para su uso en muchos sistemas de comunicación óptica. Por ejemplo, las fibras ópticas de acuerdo con las realizaciones de la invención son típicamente compatibles con fibras ópticas convencionales con respecto un diámetro de campo modal, facilitando de esta manera un buen acoplamiento de fibra a fibra.

En la memoria descriptiva y/o las figuras, se han desvelado realizaciones típicas de la invención. La presente invención no está limitada a tales realizaciones de ejemplo.

REIVINDICACIONES

1. Una fibra óptica monomodo que tiene un núcleo rodeado por un revestimiento, teniendo el perfil de índice de refracción de núcleo una forma similar a trapezoide, en la que una parte de transición del perfil de índice de refracción de núcleo similar a trapezoide se obtiene cambiando gradualmente una concentración de al menos dos dopantes de una concentración en dicha parte central de dicho núcleo a una concentración en una parte de revestimiento adyacente a dicho núcleo, y en la que dichos al menos dos dopantes comprenden óxido de germanio, cuya concentración disminuye linealmente desde dicha parte central de dicho núcleo hasta dicha parte de revestimiento adyacente a dicho núcleo, y flúor, cuya concentración aumenta linealmente desde dicha parte central de dicho núcleo hasta dicha parte de revestimiento adyacente a dicho núcleo.

2. La fibra óptica monomodo de la reivindicación 1, en la que dicho revestimiento comprende al menos una región de índice de refracción deprimido, denominada una trinchera.

3. La fibra óptica monomodo de la reivindicación 2, en la que:

- dicha parte central de dicho núcleo tiene un radio r_0 y un índice de refracción n_0 ;
- dicha parte de transmisión varía desde el radio r_0 a un radio $r_1 > r_0$;

y en la que dicho revestimiento comprende:

- un revestimiento intermedio que varía desde el radio r_1 al radio $r_2 > r_1$ y que tiene un índice de refracción n_2 ;
- variando dicha trinchera desde el radio r_2 al radio $r_3 > r_2$ y que tiene un índice de refracción n_3 ;
- un revestimiento exterior que varía desde el radio r_3 y que tiene un índice de refracción n_4 .

4. La fibra óptica monomodo de la reivindicación 3, en la que una relación r_0/r_1 de dicha parte central de dicho radio del núcleo r_0 a dicho radio de la parte de transición r_1 es entre aproximadamente 0,25 y 0,75.

5. La fibra óptica monomodo de la reivindicación 3 o 4, en la que dicho núcleo tiene una integral de la superficie V_{01} de entre aproximadamente $19 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ y $25 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$, definiéndose la integral de la superficie de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx \frac{\Delta n_0 \cdot (r_1 + r_0) + \Delta n_2 \cdot (r_1 - r_0)}{2},$$

donde $\Delta n_0 = n_0 - n_4$ es la diferencia del índice de refracción de dicha parte central de dicho núcleo con respecto a dicho revestimiento exterior, y $\Delta n_2 = n_2 - n_4$ es la diferencia del índice de refracción de dicho revestimiento intermedio con respecto a dicho revestimiento exterior.

6. La fibra óptica monomodo de cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en la que dicha trinchera tiene una integral de la superficie V_{03} de entre aproximadamente $-55 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ y 0, definiéndose la integral de la superficie V_{03} de acuerdo con la siguiente ecuación

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3,$$

donde $\Delta n_3 = n_3 - n_4$ es la diferencia del índice de refracción de dicha trinchera con respecto a dicho revestimiento exterior.

7. La fibra óptica monomodo de cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en la que dicho núcleo tiene una integral del volumen V_{11} de entre aproximadamente $80 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y $105 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$, definiéndose la integral del volumen V_{11} de acuerdo con la siguiente ecuación

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx \frac{\Delta n_0 \cdot (r_1^2 + r_1 \cdot r_0 + r_0^2) + \Delta n_2 \cdot (2r_1^2 - r_1 \cdot r_0 - r_0^2)}{3},$$

donde $\Delta n_0 = n_0 - n_4$ es la diferencia del índice de refracción de dicha parte central de dicho núcleo con respecto a dicho revestimiento exterior, y $\Delta n_2 = n_2 - n_4$ es la diferencia del índice de refracción de dicho revestimiento intermedio con respecto a dicho revestimiento exterior.

8. La fibra óptica monomodo de cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, en la que dicha trinchera tiene una integral del volumen V_{13} de entre aproximadamente $-1200 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ y 0, definiéndose la integral del volumen V_{13} de acuerdo con la siguiente ecuación

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3,$$

donde $\Delta n_3 = n_3 - n_4$ es la diferencia del índice de refracción de dicha trinchera con respecto a dicho revestimiento exterior.

- 5 9. La fibra óptica monomodo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que dicho revestimiento comprende un dopante que induce un índice de refracción menor que la sílice y en la que dicho dopante induce una disminución del índice de refracción de $-0,2 \times 10^{-3}$ o menos.
- 10 10. La fibra óptica monomodo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que dicha parte central de dicho núcleo comprende un dopante que induce el índice de refracción mayor que la sílice y en la que dicho dopante induce un aumento del índice de refracción de $0,6 \times 10^{-3}$ o más.
- 10 11. La fibra óptica monomodo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en la que dicha fibra óptica tiene un diámetro de campo modal comprendido entre $8,6 \mu\text{m}$ y $9,5 \mu\text{m}$ en una longitud de onda de 1310 nm y una longitud de onda de corte de cable máxima de 1260 nm .
- 15 12. Un procedimiento de fabricación de una fibra óptica monomodo que tiene un núcleo y un revestimiento, teniendo el perfil de índice de refracción de núcleo una forma similar a trapecioide, comprendiendo dicho procedimiento una primera etapa de deposición química de vapor para formar un núcleo-varilla, seguido por una segunda etapa de sobre-recubrimiento de dicho núcleo-varilla para obtener una preforma, seguido por una tercera etapa de extracción de una fibra óptica de dicha preforma,
en el que la primera etapa de deposición química de vapor comprende una etapa de cambio de manera gradual de una concentración de al menos dos dopantes en dicha parte de transición desde una concentración en dicha parte central de dicho núcleo a una concentración en una parte de revestimiento adyacente a dicho núcleo, que
20 comprende disminuir linealmente una concentración de óxido de germanio y aumentar linealmente una concentración de flúor, desde dicha parte central de dicho núcleo a dicha parte de revestimiento adyacente a dicho núcleo.
- 25 13. El procedimiento de la reivindicación 12 en el que dicha primera etapa de deposición química de vapor que incluye la etapa de cambio de manera gradual de dicha concentración se lleva a cabo introduciendo dichos dopantes en un núcleo-varilla por medio de un procedimiento de FCVD (para deposición química de vapor de horno) o por medio de un procedimiento de PCVD (para deposición química de vapor de plasma).
14. Sistema de transmisión de fibra óptica que comprende al menos una fibra monomodo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

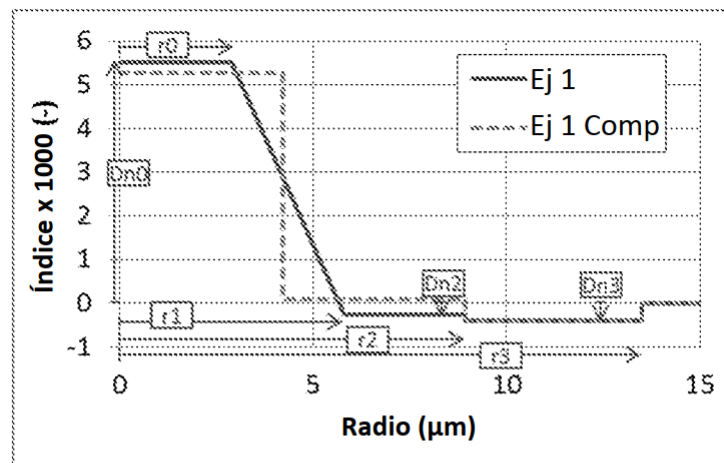


FIGURA 1

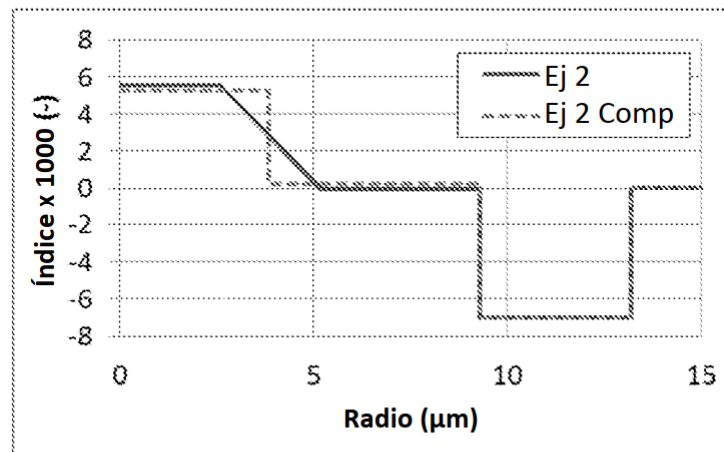


FIGURA 2

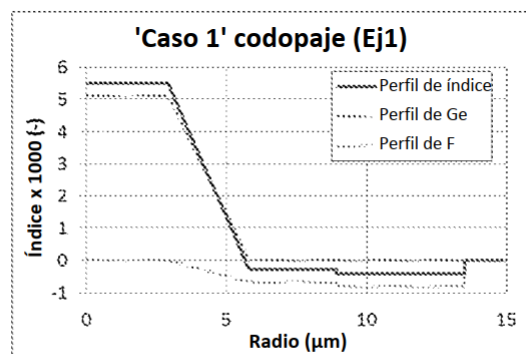


FIGURA 3

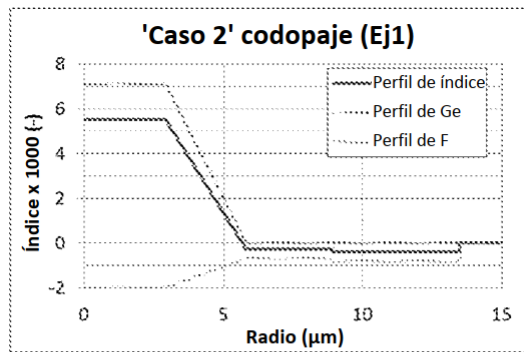


FIGURA 4

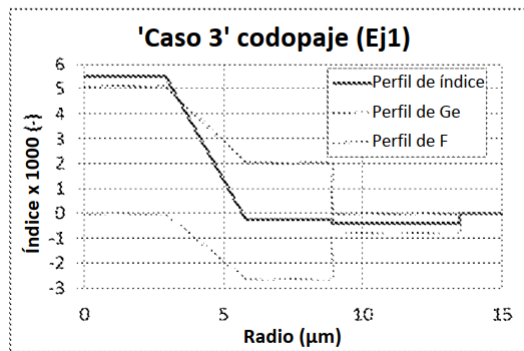


FIGURA 5

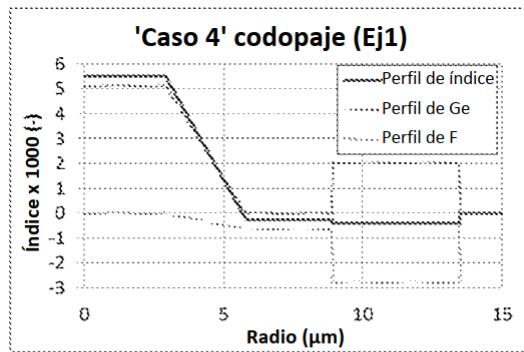


FIGURA 6

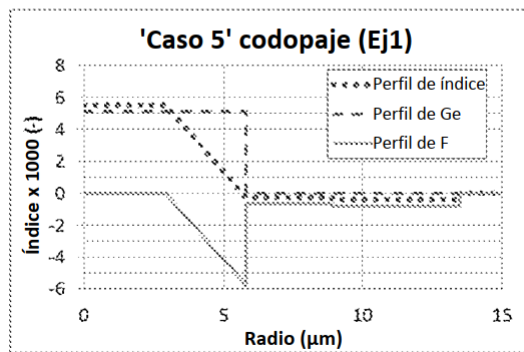


FIGURA 7

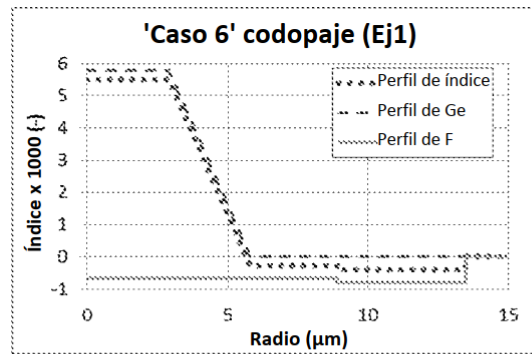


FIGURA 8

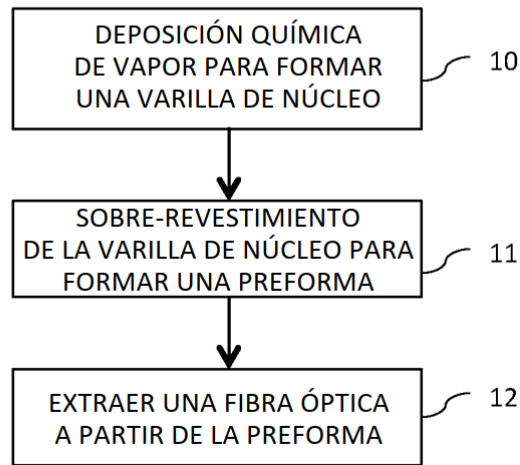


FIGURA 9

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.

Documentos de patente citado en la descripción

- US 7171090 B [0006] [0010]
- US 6625360 B [0011]
- EP 2369379 A [0012]
- US 7876990 B [0012]
- WO 2013066964 A [0012]
- US 20130279868 A [0012]
- WO 0227367 A [0013]
- US 4314833 A [0091]

Bibliografía no de patentes citada en la descripción

- **KYOZO TSUJIKAWA.** Rayleigh Scattering Reduction Method for Silica-Based Optical Fiber. *Journal of Lightwave Technology*, November 2000, vol. 18 (11) [0055]
- **W. HERMANN ; D. U. WIECHERT.** Refractive Index of Doped and Undoped PCVD Bulk Silica. *Mat. Res. Bull.*, 1989, vol. 24, 1083-1097 [0058]