

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 606 223**

51 Int. Cl.:

**C03B 37/012** (2006.01)

**C03B 37/018** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2011 E 11174603 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2016 EP 2418181**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de una preforma de fibra óptica**

30 Prioridad:

**10.08.2010 FR 1056542**  
**11.08.2010 US 372629 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.03.2017**

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V (100.0%)**  
**De Boelelaan 7**  
**1083 HJ Amsterdam, NL**

72 Inventor/es:

**DE MONTMORRILON, LOUIS-ANNE;**  
**GOIJER, FRANS y**  
**SILLARD, PIERRE**

74 Agente/Representante:

**ARPE FERNÁNDEZ, Manuel**

**ES 2 606 223 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**

Procedimiento para la fabricación de una preforma de fibra óptica

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de las fibras ópticas, y más específicamente a un procedimiento para fabricar una preforma para su utilización en el estirado de una fibra óptica que presenta pérdidas por curvatura ampliamente reducidas.
- 10 **[0002]** De manera conocida una fibra óptica se fabrica mediante el estirado a partir de una preforma en una torre de estirado de fibra. La operación de estirado de una fibra óptica a escala consiste en colocar la preforma verticalmente en una torre y estirar una hebra de fibra óptica desde un extremo de la preforma. Para este fin, se aplica localmente una temperatura elevada a un extremo de la preforma hasta que la sílice se ablanda, y la velocidad de estirado de fibra y la temperatura, se controlan continuamente durante el estirado de fibras ya que las mismas determinan el diámetro de la fibra óptica.
- 15 **[0003]** Una fibra óptica comprende convencionalmente un núcleo óptico que tiene la función de transmitir y posiblemente también amplificar una señal óptica y un revestimiento óptico que tiene la función de confinar la señal óptica en el núcleo. Para ello, los índices de refracción del núcleo  $n_c$  y del revestimiento  $n_g$  son tales que  $n_c > n_g$ . Como es bien sabido, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica monomodo, comprende un modo fundamental guiado en el núcleo y modos secundarios, guiados a cierta distancia del conjunto núcleo-revestimiento, denominados modos de revestimiento.
- 20 **[0004]** Para fibras ópticas de línea en sistemas de transmisión por fibra óptica, es convencional utilizar fibras ópticas de índice de escalón, también conocidas como fibras de modo único (SMF). Por razones de compatibilidad entre sistemas ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), ha definido una norma con una recomendación que tiene la referencia UIT-T G.652, que debe cumplir una fibra de modo único estándar (SSMF).
- 25 **[0005]** Además, el desarrollo continuo de sistemas de fibra óptica para llegar al abonado, conocidas como fibra hasta el hogar (FTTH) o la fibra hasta la acera (FTTC), hace que surjan otras restricciones que las fibras ópticas tiene que satisfacer. Específicamente, un reto importante para tales aplicaciones de FTTC o FTTH, radica en la reducción de las pérdidas por curvatura al tiempo que se conservan ciertos parámetros de transmisión óptica.
- 30 **[0006]** Así la UIT ha definido una norma con recomendaciones con las referencias UIT-T G.657A y UIT-T G.657B que necesitan ser satisfechas por fibras ópticas para aplicaciones FTTH, imponiendo, en particular, estas normas pérdidas por curvatura máximas. La recomendación G.657A, impone valores límite para las pérdidas por curvatura, pero conservando la compatibilidad con la recomendación G.652, en particular en términos de diámetro de campo modal (MFD) y de dispersión cromática. Por el contrario, la recomendación G.657.B, no impone compatibilidad con la recomendación G.652, sino que impone límites más estrictos a las pérdidas por curvatura que la recomendación G.657.A1. Las tablas I y II, a continuación, reproducen algunas de las limitaciones impuestas por las recomendaciones G.652 y G.657, relativas a las pérdidas por curvatura (tabla I) y a los parámetros de transmisión óptica (tabla II).

Tabla 1

40

Radio (mm)	Número vueltas	Longitud de onda (nm)		Máximo de pérdidas por curvatura			
				(db)	(db)	(db)	(db)
			G.652.D	G.657.A1	G.657.A2	G.657.B2	G.657.B3
30	10 0	1550					
		1625	0,1				
15	1 0	1550		0,25	0,03		
		1625		1	0,1		
10	1	1550		0,75	0,1		0,03
		1625		1.5	0,2		0,1
7,5	1	1550			0,5		0,08
		1625			1		0,25
5	1	1550					0,15
		1625					0,45

Tabla 2

Parámetro	Detalle	Unidad	G.652.D	G.657.A	G.657.B
MFD@1310nm	Rango valores nominales	(μm)	8.6-9.5	8.6-9.5	6.3-9.5
	Tolerancia		± 0,6	± 0,4	± 0,4
Longitud de onda de corte	Máximo	(nm)	1260	1260	1260
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0min}$	(nm)	1300	1300	
	$\lambda_{0max}$	(nm)	1324	1324	
	$S_{0max}$	(ps/nm <sup>2</sup> xkm)	0,092	0,092	

- 5 La fabricación de fibras ópticas que cumplan las limitaciones de las recomendaciones G.652 y G.657 se ha convertido en el mayor reto económico.
- 10 **[0007]** La tecnología de fabricación de fibras ópticas con agujeros permite conseguir un rendimiento excelente en términos de pérdidas por curvatura pero la tecnología es compleja y costosa de implementar, y en la actualidad no es adecuada para utilizarse en la fabricación de fibras ópticas para sistemas FTTH, al ser estos sistemas de bajo coste.
- 15 **[0008]** Los documentos EP-A-1 845 399 y EP-A-1 785 754, proponen perfiles de fibra óptica con una zanja enterrada que permiten limitar las pérdidas de curvatura, conservando al mismo tiempo los parámetros de transmisión óptica de una SSMF.
- 20 **[0009]** El documento WO2007/009450, se refiere a una técnica en la que: una primera varilla se prepara depositando una primera capa de tubo que constituye una primera parte del núcleo y revestimiento interno; a continuación la primera varilla se somete a ataque químico para retirar el tubo y el revestimiento; se prepara una segunda varilla depositando en una segunda capa de tubo que constituye una segunda parte del núcleo y revestimiento interior; y la segunda varilla es colapsada sobre la primera varilla del núcleo.
- 25 **[0010]** Se puede fabricar una zanja enterrada durante la fabricación de la preforma, incorporando dopantes que disminuyen el índice de refracción del material de transmisión, típicamente sílice. El dopante más comúnmente utilizado es el flúor. Por ejemplo, la zanja enterrada puede estar constituida por el tubo de la preforma primaria que puede estar hecho de sílice dopada con flúor, como se describe por ejemplo en el documento FR-A-2896795 (también publicado bajo el número US-A-2008/031582). Sin embargo, esta solución no permite obtener perfiles con una zanja profunda ni permite controlar ampliamente la uniformidad del índice de refracción de la zanja. Con el fin de garantizar pérdidas de curvatura mínimas, sin perjudicar los parámetros de transmisión óptica impuestos por la recomendación G.652, es necesario que la uniformidad de la zanja enterrada esté bien controlada.
- 30 **[0011]** Una fibra óptica puede ser fabricada a partir de una preforma que comprende una preforma primaria constituida por un tubo de sílice pura o dopada en la que se depositan sucesivamente capas de sílice dopada y/o pura para formar un revestimiento interior y un núcleo central. Dicha preforma primaria se fabrica sobre una bancada de deposición. La preforma primaria es entonces sobre-revestida o ajustada con una funda para aumentar su diámetro y formar una preforma que es adecuada para su utilización en una torre de estirado de fibras. En este contexto, el término revestimiento "interior" designa el revestimiento formado dentro del tubo y el revestimiento "exterior" designa el revestimiento formado fuera del tubo. Las operaciones de deposición dentro del tubo son del tipo deposición química en fase vapor (CVD). Este tipo de deposición se realiza inyectando mezclas de gas en el tubo e ionizando dichas mezclas. La deposición de tipo CVD abarca la deposición química en fase de vapor modificada (MCVD), la deposición química en fase de vapor asistida por horno (FCVD) y la deposición química en fase de vapor asistida por plasma (PCVD).
- 35 **[0012]** Después de haber depositado las capas correspondientes en el núcleo y en el revestimiento interior, el tubo se convierte en una varilla sólida mediante una operación denominada "colapsado". Esto produce la preforma primaria que está constituida por una varilla de sílice. La preforma primaria es entonces revestida, generalmente con granos de sílice natural por razones de coste. El sobre revestimiento puede realizarse mediante deposición asistida por plasma en la que se depositan por gravedad granos de sílice natural dopada o pura y se funden mediante una antorcha de plasma para vitrificarse sobre la periferia de la preforma primaria.
- 40 **[0013]** El dopado con flúor de una capa interna de la preforma primaria puede conseguirse eficazmente mediante deposición del tipo PCVD, tal como se describe en los documentos EP-A-1845399 o EP-A-1785754 anteriormente mencionados. Esta técnica permite incorporar gran cantidad de los dopantes de flúor para hacer una zanja enterrada que sea profunda y uniforme.
- 45 **[0014]** También existen otras técnicas para fabricar una preforma de fibra óptica.
- 50 **[0015]** Por ejemplo, el documento EP-A-1000909 describe un procedimiento para fabricar una preforma en el que una varilla de formación de núcleo se inserta en un tubo de sustrato que es posteriormente sobre-revestido. El tubo de sustrato presenta diferentes zonas de dopado obtenidas por deposición en fase de vapor externa (OVD), es decir, mediante vitrificación de granos de sílice mezclados con un gas dopante. El tubo de sustrato puede incluir en

particular una zona dopada con flúor. Sin embargo, tal procedimiento no permite hacer una zanja profunda, ni tampoco permite controlar bien la uniformidad de la zanja enterrada.

**[0016]** Los documentos WO-A-2008/087132 y WO-A-2010/003856, describen procedimientos para fabricar tubos dopados con flúor para ajustar como fundas sobre preformas primarias con el fin de constituir preformas de fibra óptica. Dichos documentos proponen la fabricación del tubo a partir de un primer tubo de sustrato de sílice dopada con flúor obtenido por deposición externa asistida por plasma (POD) u OVD. Un segundo tubo de sílice dopado con flúor se forma en la primera por POD, teniendo el segundo tubo una concentración de dopante que es diferente de la del primer tubo; después se aplica al conjunto sobre-revestimiento de sílice. Eso produce un tubo dopado con flúor con dos zonas de dopado diferentes. No obstante, tales procedimientos no permiten controlar bien la uniformidad de las zonas dopadas, ni permiten alcanzar zanjas profundamente enterradas.

**[0017]** El documento US-A-2007/0003198, describe un procedimiento para fabricar una preforma de fibra óptica. Ese procedimiento propone fabricar en primer lugar una varilla formando el núcleo mediante deposición en fase de vapor axial externa (VAD) u OVD, y en segundo lugar formar un revestimiento enterrado a partir de un tubo en el que se deposita una zona dopada con flúor por MCVD. La varilla del núcleo se inserta subsiguientemente dentro del tubo que tiene la zanja enterrada, y el conjunto es sobre-revestido. Ese documento identifica un aumento en los enlaces OH, cuando el núcleo está formado por MCVD a partir de un tubo barato que no presenta un alto nivel de pureza. Por lo tanto, el procedimiento descrito en dicho documento pretende limitar las pérdidas ópticas en el núcleo, en particular cuando se va a fabricar una fibra óptica que tiene un perfil con una zanja enterrada.

**[0018]** También es deseable fabricar preformas con gran capacidad. La capacidad de una preforma se define como la longitud de fibra óptica que se puede estirar a partir de esa preforma. Cuanto mayor sea el diámetro de la preforma, mayor será su capacidad. Con el fin de reducir los costes de fabricación, es deseable proporcionar fibras ópticas de gran longitud lineal a partir de una preforma dada. Por lo tanto, es deseable fabricar preformas de gran diámetro, cumpliendo con restricciones dimensionales relacionadas con el diámetro del núcleo central y el diámetro del revestimiento óptico. Después del sobre-revestimiento, la preforma final debe presentar la misma proporción de diámetro de núcleo dividido por el diámetro del revestimiento que va a presentar por la fibra óptica estirada a partir de la misma.

**[0019]** Durante la fabricación de la preforma, también es deseable limitar tanto como sea posible la cantidad de vidrio que necesita depositarse antes del sobre-revestimiento. Esto reduce ventajosamente el coste de fabricación de la fibra óptica, debido a que el vidrio dopado por un procedimiento CVD (MCVD, FCVD, PCVD) o un procedimiento VAD o un procedimiento OVD, es más caro que el vidrio del tubo o que los granos de sílice natural utilizados para deposición por plasma al tiempo del sobre revestimiento. También debe observarse que esto permite ventajosamente fabricar una mayor longitud de fibra óptica sin aumentar la capacidad de la bancada de deposición. Fabricar preformas de gran capacidad y/o preformas con una fracción más pequeña de vidrio depositado, permite por tanto mejorar la productividad.

**[0020]** Además, es ventajoso que esta mejora de la productividad, se obtenga sin modificación sustancial de las bancadas de deposición actualmente disponibles. Típicamente, una bancada de deposición presenta limitaciones en términos de la capacidad máxima de vidrio que es capaz de depositar; Esta limitación se expresa generalmente en términos de área de sección transversal (CSA). De manera conocida, la CSA de una capa depositada que tiene simetría circular, es igual a  $\pi (R_{\text{ext}}^2 - R_{\text{int}}^2)$ , donde  $R_{\text{ext}}$  y  $R_{\text{int}}$ , son los radios exterior e interior de la capa. La CSA máxima que puede depositarse mientras se fabrica una preforma depende del tipo de bancada utilizada. Un fabricante de fibras ópticas puede, por lo tanto, disponer de bancadas de deposición que presenten capacidades diferentes, es decir, diferentes CSA a depositar.

**[0021]** La fabricación de una preforma de gran diámetro para estirar en una fibra óptica que es insensible a curvatura, es decir, que satisface las recomendaciones G.657, implica la formación de una zanja enterrada de gran anchura en la preforma primaria, con el fin de cumplir con las relaciones de escala de la preforma a la fibra óptica estirada.

**[0022]** Los procedimientos descritos con referencia a los documentos antes mencionados, no permiten hacer una zanja que sea a la vez profundamente enterrada y completamente uniforme para satisfacer las restricciones relativas a las pérdidas por curvatura limitadas, y suficientemente ancha para permitir hacer una preforma de gran capacidad a un coste competitivo para aplicaciones tipo FTTH o FTTC.

**[0023]** En particular, las técnicas que consisten en utilizar un tubo dopado con flúor no permiten obtener un control suficiente sobre la zanja enterrada para garantizar el cumplimiento de las restricciones de la recomendación G.657.

**[0024]** De manera similar, el depósito de una zanja enterrada por MCVD no permite hacer una zanja profunda, uniforme y de gran anchura para constituir una preforma de gran capacidad.

**[0025]** Además, fabricar una preforma de gran capacidad requiere el uso de una bancada de deposición que tenga una CSA a depositar grande. Tales bancadas de deposición son poco frecuentes.

**[0026]** Por lo tanto, existe la necesidad de un procedimiento para fabricar una preforma de fibra óptica que permita una preforma de gran capacidad a realizar a un precio competitivo y sin modificaciones sustanciales en las bancadas de deposición disponibles, para fabricar fibras ópticas que cumplan con las limitaciones de las recomendaciones G.652 y G.657.

**[0027]** Con este fin, la invención propone separar la fabricación del núcleo y la fabricación de la zanja enterrada para aumentar la productividad.

**[0028]** Más particularmente, la invención proporciona un procedimiento para fabricar una preforma de fibra óptica según la reivindicación 1.

- [0029]** En una realización, la segunda varilla se prepara mediante deposición química en fase de vapor asistida por plasma.
- [0030]** En una realización, la primera varilla se prepara mediante cualquier técnica seleccionada entre deposición química en fase vapor modificada, CVD asistida por horno o CVD asistida por plasma.
- 5 **[0031]** En una realización, el procedimiento comprende además una etapa consistente en estirar la primera varilla antes de ajustar la segunda varilla como una funda.
- [0032]** En una realización, el procedimiento comprende además una etapa que consiste en atacar químicamente, al menos, una porción del primer tubo antes de montar la segunda varilla como una funda.
- 10 **[0033]** En una realización, el procedimiento comprende además una etapa de sobre-revestimiento exterior de la segunda varilla o de ajustar a la misma una funda para alcanzar un diámetro final de preforma superior o igual a 140 milímetros (mm). El área de la sección transversal de las zonas depositadas en cada una de las varillas permanece inferior a 700 milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>).
- [0034]** En una realización, la zanja enterrada es depuesta con dopantes a una concentración controlada de modo que la zanja enterrada presente una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior que se encuentra en el intervalo de  $-4 \times 10^{-3}$  a  $-10 \times 10^{-3}$ . La concentración de dopantes se controla de tal manera que la zanja enterrada presenta una variación longitudinal del índice inferior al 10% en toda la longitud de la segunda varilla.
- 15 **[0035]** En una realización, la zanja enterrada es depuesta hasta que esta zanja enterrada presente un área de sección transversal comprendida en el intervalo de 300 mm<sup>2</sup> a 700 mm<sup>2</sup>. El área de la sección transversal de la zanja enterrada presenta una variación del 10% en toda la longitud de la segunda varilla.
- 20 **[0036]** En una realización, la zanja enterrada es depuesta con control de concentración de dopante hasta que la zanja enterrada presenta un valor para el producto de la CSA de la zanja enterrada multiplicado por la diferencia  $\Delta n_3$  del índice de refracción de la zanja enterrada y dividido por el número Pi ( $\pi$ ), situado en el intervalo de  $-2550 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup> a  $-760 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>. El valor para el producto de la CSA de la zanja enterrada multiplicado por la diferencia  $\Delta n_3$  del índice de refracción de la zanja enterrada y dividido por el número Pi ( $\pi$ ), presenta una variación longitudinal de menos del 15% en toda la longitud de la segunda varilla.
- 25 **[0037]** La invención también proporciona una preforma de fibra óptica que comprende, desde el centro hacia la periferia, un núcleo central, un revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un revestimiento exterior, donde la zanja enterrada presenta:
- una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior que se encuentra en el intervalo de  $-4 \times 10^{-3}$  a  $-10 \times 10^{-3}$  con variación longitudinal inferior al 10% en toda la longitud de la preforma; y
  - un valor para el producto de la CSA de la zanja enterrada multiplicado por la diferencia del índice de refracción  $\Delta n_3$  de la zanja enterrada y dividido por el número Pi ( $\pi$ ), situado en el intervalo  $-2550 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup> a  $-760 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup> con una variación longitudinal de menos del 15% en toda la longitud de la preforma.
- 30 **[0038]** En una realización, la zanja enterrada presenta un área de sección transversal comprendida entre 300 mm<sup>2</sup> y 700 mm<sup>2</sup>. El área de la sección transversal de la zanja enterrada presenta una variación longitudinal de toda la longitud de la preforma inferior al 10%.
- [0039]** En una realización, la preforma presenta un diámetro mayor o igual a 140 mm.
- [0040]** En una realización, el núcleo presenta una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior que se encuentra en el intervalo de  $4 \times 10^{-3}$  a  $6 \times 10^{-3}$ .
- 40 **[0041]** En una realización, el núcleo presenta una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento intermedio comprendida en el intervalo  $4 \times 10^{-3}$  a  $6 \times 10^{-3}$ .
- [0042]** La invención también proporciona un procedimiento para fabricar una fibra óptica, que comprende las etapas de:
- fabricar una preforma mediante el procedimiento de la invención; y
  - estirar una fibra óptica a partir de dicha preforma en una torre de estirado de fibras.
- 45 **[0043]** La invención también proporciona una fibra óptica estirada a partir de la preforma de la invención y una unidad óptica que recibe al menos una porción de fibra de la invención o, al menos, una porción de fibra fabricada por el procedimiento de la invención. La invención encuentra una aplicación particular en un sistema de transmisión por fibra óptica, que incluye, al menos, una porción de fibra de la invención o, al menos, una porción de fibra fabricada por el procedimiento de la invención.
- 50 **[0044]** Otras características y ventajas de la invención aparecerán de la lectura de la siguiente descripción de realizaciones de la invención dadas a modo de ejemplo y con referencia a las figuras adjuntas, en las que:  
La figura 1 muestra un ejemplo de un perfil establecido para una preforma de fibra óptica fabricada usando el procedimiento de la invención;
- 55 La figura 2 es un diagrama de varillas fabricadas para constituir la preforma de fibra óptica en el procedimiento de la invención; y  
La figura 3 es una sección transversal esquemática de una preforma de fibra óptica fabricada por el procedimiento de la invención.
- [0045]** La preforma de fibra óptica de la invención comprende un núcleo central, un revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un revestimiento exterior. El término "zanja enterrada" se usa para significar una realmente obtenida después de estirar una fibra óptica a partir de una preforma que presente, posiblemente, un perfil sea ligeramente diferente.
- 60 **[0046]** La preforma de fibra óptica de la invención comprende un núcleo central que presenta una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_1$  respecto del revestimiento exterior que actúa como revestimiento óptico, un revestimiento intermedio que presenta una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_2$  con respecto al revestimiento exterior y una zanja
- 65

enterrada que presenta una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_3$  con respecto al revestimiento exterior. Los índices de refracción del núcleo central, del revestimiento intermedio y de la zanja enterrada son sustancialmente constantes a través de sus anchuras totales respectivas; sin embargo se podrían prever otros perfiles. La anchura del núcleo está definida por su radio  $r_1$ , las anchuras del revestimiento y de la zanja están definidas por sus respectivos radios exteriores  $r_2$  y  $r_3$ .

[0047] Con el fin de definir un perfil de índice de refracción establecido para una fibra óptica, es práctica general tomar como referencia el valor de índice de refracción del revestimiento exterior. Los valores de índice de refracción del núcleo central, y del revestimiento intermedio y enterrado se presentan entonces como diferencias con el índice de refracción  $\Delta n_{1,2,3}$ . En general, el revestimiento exterior está hecho de sílice, sin embargo dicho revestimiento puede ser dopado con el fin de aumentar o disminuir su índice de refracción, por ejemplo, con el fin de modificar las características de propagación de la señal.

[0048] Se desea fabricar una preforma para una fibra óptica que satisface los criterios de las recomendaciones G.652 y G.657. La preforma presenta así un núcleo central que tiene una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_1$  con respecto al revestimiento exterior comprendida en el intervalo de  $4 \times 10^{-3}$  a  $6 \times 10^{-3}$  y es típicamente de aproximadamente  $5 \times 10^{-3}$ , un revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_2$  con respecto al revestimiento exterior comprendida en el intervalo de  $-1 \times 10^{-3}$  a  $1 \times 10^{-3}$ , y una zanja enterrada que tiene una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_3$  con respecto al revestimiento exterior que se encuentra en el intervalo de  $-4 \times 10^{-3}$  a  $-10 \times 10^{-3}$ . También es preferible que la diferencia entre el núcleo central y el revestimiento intermedio ( $\Delta n_0 - \Delta n_2$ ), se encuentre en el intervalo de  $4 \times 10^{-3}$  a  $6 \times 10^{-3}$ . Una vez que la preforma ha sido estirada, la fibra óptica puede presentar un núcleo central que tiene un radio  $r_1$ , comprendido en el intervalo de 3,5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) a 4,5  $\mu\text{m}$ , un revestimiento intermedio que tiene un radio  $r_2$ , comprendido en el intervalo de 7,5  $\mu\text{m}$  a 14,5  $\mu\text{m}$  y una zanja enterrada con un radio  $r_3$  comprendido entre 13  $\mu\text{m}$  y 18  $\mu\text{m}$ .

[0049] La fibra óptica obtenida a partir de una preforma de la invención también puede presentar una o más de las siguientes características:

- la integral de superficie del núcleo central,  $V_{01}$ , definida como:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

se encuentra comprendida en el intervalo de  $17 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  a  $24 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ ;

- la superficie integral del núcleo enterrado de la zanja,  $V_{03}$ , definida como:

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

se encuentra en el intervalo  $-55 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  a  $-25 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ ; y

- la integral de volumen de la zanja enterrada,  $V_{13}$ , definida como:

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

se encuentra en el intervalo de  $-1200 \times 10^{-3}$  micrómetros cuadrados ( $\mu\text{m}^2$ ) a  $-600 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

[0050] Dicha fibra óptica presenta un diámetro de campo modal comprendido en el intervalo de 8,6  $\mu\text{m}$  a 9,5  $\mu\text{m}$  a una longitud de onda de 1310 nanómetros (nm), una longitud de onda de dispersión cromática nula comprendida en el intervalo de 1300 nm a 1324 nm, una longitud de onda de corte de cable inferior a 1260 nm y pérdidas de curvatura que satisfacen los criterios de las recomendaciones G.657 expuestas en la anterior tabla 1.

[0051] Por lo tanto, se desea fabricar una preforma de alta capacidad para una fibra óptica que satisface los criterios anteriormente citados.

[0052] El procedimiento de fabricación de la invención propone preparar separadamente en primer lugar el núcleo central junto con al menos una porción del revestimiento intermedio y, en segundo lugar, la zanja enterrada junto con, al menos, una porción del revestimiento exterior.

[0053] Haciendo referencia a la figura 2, se prepara una primera varilla 10. Esta primera varilla 10 constituye, al menos, el núcleo central ( $\Delta n_1$ ,  $r_1$ ) y opcionalmente al menos una porción del revestimiento intermedio ( $\Delta n_2$ ,  $r_2$ ). El revestimiento intermedio ( $\Delta n_2$ ,  $r_2$ ) también puede estar contenido completamente dentro de la primera varilla 10.

[0054] La primera varilla 10, se prepara por deposición química en fase vapor (CVD) en un primer tubo de sílice puro o dopado, para, por ejemplo, la primera varilla 10 puede prepararse usando cualquiera de las técnicas seleccionadas de depósito de vapor químico modificado (MCVD), CVD asistida por horno (FCVD), o CVD asistida por plasma (PCVD).

**[0055]** Aún con referencia a la figura 2, también se prepara una segunda varilla 20 de manera similar por deposición química en fase vapor (CVD), preferiblemente usando depósitos del tipo PCVD. La segunda varilla 20 está hecha de un segundo tubo de sílice puro o dopado, en el que se forman depósitos CVD para constituir, al menos, la zanja enterrada ( $\Delta n_3$ ,  $r_3$ ) y opcionalmente, al menos, una porción del revestimiento intermedio ( $\Delta n_2$ ,  $r_2$ ). El tubo de inicio para la segunda varilla 20 puede constituir una porción del revestimiento exterior o una porción del segundo revestimiento intermedio.

**[0056]** La PCVD hace posible formar una zanja enterrada en la segunda varilla 20 que es muy profunda y de gran anchura, asegurando al mismo tiempo un buen control sobre la uniformidad del dopado dentro de la zanja. La zanja enterrada depositada en la segunda varilla 20, presenta una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_3$  con respecto al revestimiento exterior que se encuentra en el intervalo de  $-4 \times 10^{-3}$  a  $-10 \times 10^{-3}$  con el índice de refracción controlado longitudinalmente hasta un 610%. La zanja enterrada depositada en la segunda varilla 20, presenta una CSA comprendida en el intervalo de  $300 \text{ mm}^2$  y  $700 \text{ mm}^2$ , siendo el área controlada longitudinalmente hasta un 610%. En particular, es deseable que el volumen de la zanja enterrada, definida como el producto de la CSA de la zanja enterrada por la diferencia de  $\Delta n_3$  de índice de refracción de la zanja enterrada y dividido por el número  $\pi$  ( $\pi$ ), se sitúe en el intervalo de  $-2550 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  a  $-760 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  y para que se controle longitudinalmente hasta un 615%. El índice de refracción y la CSA, se controlan longitudinalmente sobre toda la longitud de la preforma. Una preforma presenta típicamente una longitud comprendida en el intervalo de 700 mm a 1500 mm, y es generalmente de aproximadamente 1 metro (m). La deposición en el segundo tubo se interrumpe después de haberse formado la zanja enterrada, opcionalmente después de que haberse depositado una porción del revestimiento intermedio.

**[0057]** Como se muestra en la figura 2, la segunda varilla 20 es hueca, por lo tanto, puede montarse sobre la primera varilla 10 como una funda. Cuando sea necesario, la primera varilla 10, se puede estirar un poco antes de que la segunda varilla se ajuste sobre la misma como una funda con el fin de reducir su CSA y cumplir con restricciones de escala para el perfil de fibra deseado. En otra realización, el tamaño de la primera varilla 10, puede reducirse antes de que la segunda varilla 20 se ajuste como una funda sobre la misma, utilizando un procedimiento de ataque químico. Tal procedimiento de ataque químico sirve no sólo para reducir la CSA de la primera varilla 10, sino que también puede limitar la contribución a pérdidas ópticas del primer tubo de deposición. La pureza de un tubo de deposición no es generalmente tan buena como la del vidrio que se deposita por el procedimiento CVD. El primer tubo, que constituye todo o parte del revestimiento intermedio, es por tanto una posible fuente de pérdidas ópticas degradadas si no está suficientemente lejos del núcleo de la fibra óptica y/o si no es suficientemente puro.

**[0058]** La segunda varilla 20 se ajusta como una funda sobre la primera varilla 10, cuando es apropiado después de estirar y/o atacar químicamente la primera varilla como se ha descrito anteriormente, constituyendo una preforma primaria que puede ser sobre-revestida para alcanzar el diámetro total necesario para conservar las relaciones de escala con el perfil de fibra deseado. Dependiendo de la realización, se puede realizar un recubrimiento sobre la segunda varilla 20 antes o después de ajustarse como una funda en la primera varilla 10. De manera conocida, el sobre revestimiento puede ser realizado depositando granos de sílice puros o dopados en el exterior o por acoplamiento de un tubo a modo de funda en la preforma primaria. Con una preforma de gran tamaño, la construcción se realiza preferiblemente con granos de sílice.

**[0059]** La figura 3 es un diagrama de un ejemplo de una preforma final obtenida usando el procedimiento de fabricación de la invención. El núcleo central de la preforma presenta un radio  $R_1$ . El revestimiento intermedio comprende una porción depuesta de radio  $R_2$  y teniendo el primer tubo de la primera varilla un diámetro exterior  $D_1$ , el diámetro  $D_{10}$  del tubo puede haber sido reducido por ataque químico antes de ser insertado en la segunda varilla; el tubo de la primera varilla 10, puede incluso ser retirado completamente por ataque químico, como se describirá a continuación con referencia a determinados ejemplos. La zanja enterrada presenta un radio  $r_3$ , depositándose en un segundo tubo de diámetro exterior  $D_{20}$ . El conjunto que comprende la segunda varilla montada como una funda en la primera varilla es sobre revestida para alcanzar un diámetro total  $D$ . Total.

**[0060]** El procedimiento de la invención hace posible fabricar preformas gruesas sin que sea necesario modificar el comportamiento de las bancadas de deposición. El número de capas depositadas por CVD en cada una de las varillas 10 y 20, sigue siendo limitado por lo que los costos están bajo control. Sólo las capas correspondientes al núcleo central y posiblemente a una porción del revestimiento intermedio se depositan en la primera varilla 10 y sólo las capas correspondientes a la zanja enterrada y posiblemente a una porción del revestimiento intermedio se depositan en la segunda varilla. En una realización casi todo o la totalidad del revestimiento intermedio, está presente en la primera varilla 10. Por lo tanto, pueden utilizarse bancadas de deposición de tamaño medio para formar cada una de las varillas 10 y 20. En particular, las CSA de las zonas depositadas en cada una de las varillas 10, 20 son inferiores a  $700 \text{ mm}^2$  para una preforma final que tiene un diámetro mayor o igual a 140 mm.

**[0061]** El procedimiento de la invención permite también limitar las proporciones de CSA de las zonas obtenidas por deposición, en la primera varilla 10 y en la segunda varilla 20, con relación al tamaño de la preforma: la presencia del tubo de deposición de la primera varilla 10, reemplaza una porción del vidrio depositado. Específicamente, para un perfil dado, se ha encontrado que es posible obtener una reducción de la relación de la CSA de todas las zonas depositadas, ignorando el sobre-revestimiento, dividido por la CSA total de la preforma que es del 5% o más. El coste de fabricar una preforma de gran tamaño es por lo tanto limitado y la inversión en el equipo de deposición de bancada no es esencial.

**[0062]** La preforma fabricada por el procedimiento de la invención está diseñada para ser estirada para fabricar una fibra óptica que cumple los criterios de las recomendaciones G.652, G.657.A2 y G.657.B2, e incluso los criterios de la recomendación G.657.B3, además de las tres recomendaciones precedentes. Para este fin, las relaciones de escala entre la preforma y la fibra estirada, requieren dimensiones de la preforma tales que la zanja enterrada

presente un radio  $r_3$  comprendido en el intervalo de 13  $\mu\text{m}$  a 18  $\mu\text{m}$  para una fibra óptica que tenga un diámetro de 125  $\mu\text{m}$ . Específicamente, la relación entre el radio exterior de la zanja enterrada y el radio de la preforma sobre revestida debe estar en el intervalo de 0,208 a 0,288.

**[0063]** La CVD, y en particular la PCVD de la zanja enterrada hace posible proporcionar una zanja que está enterrada profundamente, con una diferencia de índice de refracción respecto del revestimiento exterior comprendida entre  $-4 \times 10^{-3}$  y  $-10 \times 10^{-3}$ , y que es de un tamaño muy grande, con una CSA comprendida entre 300  $\text{mm}^2$  y 700  $\text{mm}^2$ , garantizando al mismo tiempo un buen escalado de la zanja enterrada para evitar degradar el comportamiento de la fibra óptica. Específicamente, la zanja enterrada presenta una variación longitudinal del índice a lo largo de la preforma de menos del 10% y una variación longitudinal de la CSA menor del 10%. Ventajosamente, el volumen de la zanja se encuentra comprendido en el intervalo de  $-2550 \times 10^{-3} \text{mm}^2$  a  $-760 \times 10^{-3} \text{mm}^2$  y presenta una variación longitudinal inferior al 15%.

**[0064]** Las tablas III a V siguientes dan ejemplos de preformas fabricadas por el procedimiento de la invención en comparación con preformas de fibra de la técnica anterior.

**[0065]** Las preformas de los ejemplos 1-1, 1-2 y 2, de la invención, son para estirar fibras que cumplan los criterios de las recomendaciones G.652, G.657.A2 y G.675.B2, cuando la zanja presenta una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_3$  con respecto al revestimiento exterior igual a aproximadamente  $-7 \times 10^{-3}$ . Estas fibras también satisfacen la recomendación G.657.B3 para una zanja más profunda, presentando una diferencia del índice de refracción  $\Delta n_3$ , respecto del revestimiento exterior igual a aproximadamente  $-10 \times 10^{-3}$ .

**[0066]** Las preformas de los ejemplos 3-1, 3-2 y 3-3, de la invención, son para estirar fibras que satisfacen los criterios de las recomendaciones G.652, G.657.A2 y G.657.B2, cuando la zanja presenta una diferencia de índice de refracción con el revestimiento exterior  $\Delta n_3$  igual a aproximadamente  $-5 \times 10^{-3}$ . Estas fibras también satisfacen la recomendación G.657.B3, para una zanja más profunda, presentando una diferencia de índice de refracción  $\Delta n_3$  con relación al revestimiento exterior igual a aproximadamente  $-7 \times 10^{-3}$ .

**[0067]** Los ejemplos comparativos 1A y 3A corresponden a preformas de la técnica anterior fabricadas sobre una bancada que tiene relativamente pequeña capacidad con una CSA depositada igual a aproximadamente 340  $\text{mm}^2$ . El ejemplo comparativo 2A, corresponde a una preforma de la técnica anterior fabricada sobre una bancada que tiene una capacidad relativamente grande con una CSA depositada igual a aproximadamente 550  $\text{mm}^2$ . Los ejemplos comparativos 1B, 2B y 3B corresponden a extrapolaciones de preformas de la técnica anterior fabricadas sobre bancadas con capacidades muy grandes con unas CSA depositadas de aproximadamente 800  $\text{mm}^2$ , 1300  $\text{mm}^2$  y 1100  $\text{mm}^2$ , respectivamente. Los ejemplos 1B, 2B y 3B, son ficticios y representan lo que debería ser posible lograr en bancadas con capacidades muy grandes; estos ejemplos ficticios se idearon mediante la extrapolación escalada de los ejemplos 1A, 2A y 3A.

**[0068]** Los ejemplos 1-1 y 1-2 de la invención muestran que es posible conseguir la misma capacidad que el ejemplo ficticio 1B aunque se utilicen bancadas de deposición de menor capacidad. Lo mismo se aplica para el ejemplo 2 de la invención en comparación con el ejemplo ficticio 2B y los ejemplos 3-1, 3-2 y 3-3 de la invención con respecto al ejemplo ficticio 3B.

**[0069]** Los perfiles previstos para los ejemplos 1-1 y 1-2 son idénticos. La diferencia entre estos dos ejemplos se encuentra en la composición del revestimiento intermedio de la preforma primaria. En el ejemplo 1-1, el revestimiento intermedio está constituido por una porción depositada que tiene una CSA igual a 145,9  $\text{mm}^2$  (y en el ejemplo 1-2, es igual a 281,7  $\text{mm}^2$ ), y una porción constituida por el primer tubo de deposición de la primera varilla que tiene una CSA igual a 180,6  $\text{mm}^2$  (44,8  $\text{mm}^2$  por ejemplo 1-2). La proporción más pequeña del tubo de deposición del ejemplo 1-2 en comparación con el ejemplo 1-1, sirve para garantizar un mejor comportamiento de atenuación de la fibra óptica estirada de la preforma correspondiente. En la práctica, se puede usar el mismo tubo de deposición para la primera varilla, con una CSA igual a 180,6  $\text{mm}^2$ , de cada uno de los ejemplos 1-1 y 1-2. Se aplica un ataque químico a la primera varilla en el ejemplo 1-2 para reducir la CSA del primer tubo de deposición.

**[0070]** Similarmente, los perfiles previstos en los ejemplos 3-1, 3-2 y 3-3 son idénticos. En el ejemplo 3-1, el primer tubo de deposición de la primera varilla, se elimina por completo por un procedimiento de ataque químico mientras que en el ejemplo 3-3, el revestimiento intermedio está constituido exclusivamente por el primer tubo de deposición de la primera varilla, con el ejemplo 3-2 constituyendo una configuración intermedia entre los ejemplos 3-1 y 3-3. En el ejemplo 3-3, la pureza del tubo de la primera varilla debe ser próxima a la del vidrio depositado por CVD si se desea conservar una atenuación que sea compatible con la recomendación G.652.

**[0071]** En la tabla III, los valores  $2R_n$  designan respectivamente los diámetros del núcleo central  $2R_1$ , de la porción depositada del revestimiento intermedio  $2R_2$  y de la zanja enterrada  $2R_3$ ; el valor D10 designa el diámetro del primer vástago de la preforma y el valor D20 designa el diámetro del segundo vástago de la preforma; el valor D.Total designa el diámetro total de la preforma sobre revestida.

Tabla III

	Primera varilla 10				Segunda varilla 20		Sobre revestimiento
	2R <sub>1</sub>	2R <sub>2</sub>	2R <sub>3</sub>	D10	2R <sub>3</sub>	D20	D. Total
UNIDAD	mm	Mm	mm	mm	mm	mm	Mm
Ej. comp. 1A	6,07	14,63	2081	25,97	--	--	98,5
Ej. comp. 1B	9,3	22,41	31,88	39,79	--	--	150,9
Ej. 1-1	9,3	16,5	--	22,41	31,88	37,2	150,9
Ej. 1-2	9,3	21,1	--	22,41	31,88	37,2	150,9
Ej. comp. 2A	7,63	18,39	26,5	32,64	--	--	123,8
Ej. comp. 2B	11,69	28,18	40,61	50,01	--	--	189,7
Ej. 2	11,69	20,74	--	28,17	40,61	46,75	189,7
Ej. comp. 3A	5,5	12,98	20,83	25,97	--	--	87,9
Ej. comp. 3B	9,89	23,33	37,44	46,68	--	--	158
Ej. 3-1	9,89	23,33	--	23,33	37,44	42,05	158
Ej. 3-2	9,89	17,51	--	23,33	37,44	42,05	158
Ej. 3-3	9,89	--	--	23,33	37,44	42,05	158

- 5 En la tabla III puede observarse claramente que la zanja enterrada de los ejemplos comparativos se deposita en la primera varilla mientras que para los ejemplos de la invención se deposita en la segunda varilla. También puede verse en la tabla III que el diámetro exterior de la zanja intermedia es igual a 2R<sub>2</sub> en los ejemplos comparativos; mientras que el diámetro exterior de la zanja intermedia es igual a D10 para los ejemplos de la invención. Esto está representado por el círculo de línea discontinua en la figura 3; el revestimiento intermedio está constituido por una
- 10 porción depositada que tiene un radio exterior R<sub>2</sub> más una porción de tubo que tiene un diámetro D10.
- [0072] En la tabla IV, los valores CSA<sub>n</sub> designan respectivamente las áreas de sección transversal del núcleo central CSA<sub>1</sub>, de la trinchera intermedia depositada CSA<sub>2</sub>, y de la zanja enterrada CSA<sub>3</sub>; los valores CSA<sub>T10</sub> y CSA<sub>T20</sub> designan respectivamente las áreas de sección transversal de los tubos utilizados para formar las varillas primera y segunda; y los valores CSA<sub>10</sub> y CSA<sub>20</sub> designan respectivamente las áreas de sección transversal de las varillas
- 15 primera y segunda de la preforma.
- [0073] Debe observarse que el diámetro interior de la zanja enterrada de una preforma de la invención es D10, es decir, el diámetro exterior del tubo de deposición de la primera varilla, mientras que el diámetro interior de la zanja enterrada de una preforma de los ejemplos comparativos es 2R<sub>2</sub>, es decir, el diámetro exterior de la zanja intermedia. Por tanto, para las preformas correspondientes a los ejemplos de la invención, la CSA<sub>3</sub> se calcula
- 20 utilizando la siguiente fórmula:  $CSA_3 = \pi \times (2R_3)^2 - D10^2)/4$  (o  $CSA_3 = \pi \times (R_3^2 - 1/4 \times D10^2)$ ), mientras que la CSA<sub>3</sub> de los ejemplos comparativos se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$CSA_3 = \pi \times ((2R_3)^2 - (2R_2)^2)/4 \text{ (or } CSA_3 = \pi \times (R_3^2 - R_2^2) \text{ )}.$$

25

Tabla IV

	Varilla primera 10					Varilla segunda 20		
	CSA <sub>1</sub>	CSA <sub>2</sub>	CSA <sub>3</sub>	CSA <sub>T10</sub>	CSA <sub>10</sub>	CSA <sub>3</sub>	CSA <sub>T20</sub>	CSA <sub>20</sub>
Unidad	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
Ej. comp. 1A	28,94	139,2	172	189,6	529,7	--	--	--
Ej. comp. 1B	67,93	326,5	403,8	445,2	1243,4	--	--	--
Ej. 1-1	67,93	145,9	--	180,6	394,4	403,8	288,6	692,4
Ej. 1-2	67,93	281,7	--	44,8	394,4	403,8	288,6	692,4
Ej. comp. 2A	45,72	219,9	285,9	285,2	836,7	--	--	--
Ej. comp. 2B	107,33	516,4	671,6	669	1964,3	--	--	--
Ej. 2	107,33	230,5	--	285,4	623,2	672	421,3	1093,3
Ej. comp. 3A	23,76	108,6	208,5	188,9	529,8	--	--	--
Ej. comp. 3B	76,82	350,7	673,5	610,5	1711,5	--	--	--
Ej. 3-1	76,82	350,7	--	--	427,5	673,5	287,8	961,3
Ej. 3-2	76,82	163,9	--	186,8	427,5	673,5	287,8	961,3
Ej. 3-3	76,82	--	--	350,7	427,5	673,5	287,8	961,3

- 5 Como se ha mencionado anteriormente, los ejemplos comparativos 1B, 2B y 3B, son ejemplos ficticios de preformas que debería ser posible fabricar sobre bancadas con capacidades muy grandes. En particular, el ejemplo 1B es una preforma que requeriría una bancada de deposición con una CSA a depositar de 800 mm<sup>2</sup> (CSA<sub>1</sub> + CSA<sub>2</sub> + CSA<sub>3</sub> = 798,23 mm<sup>2</sup>). Del mismo modo, el ejemplo 2B es una preforma que requeriría una bancada de deposición con una CSA a depositar del orden de 1300 mm<sup>2</sup>, y el ejemplo 3B es una preforma que requeriría una bancada de deposición con una CSA a depositar del orden de 1100 mm<sup>2</sup>.
- 10 **[0074]** Se puede ver claramente en la tabla IV que, aunque las preformas de la invención son de gran capacidad, son capaces de fabricarse en bancadas de deposición que tienen CSA a depositar que son mucho más pequeñas que para los ejemplos comparativos 1B, 2B y 3B. En particular, el ejemplo 1-1, requiere una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar del orden de 220 mm<sup>2</sup> (CSA<sub>1</sub> + CSA<sub>2</sub> = 213,83 mm<sup>2</sup>) para la primera varilla y una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar de aproximadamente 400 mm<sup>2</sup> (CSA<sub>3</sub> = 403,8 mm<sup>2</sup>) para la segunda varilla. Del mismo modo, el ejemplo 1-2, requiere una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar de aproximadamente 350 mm<sup>2</sup> (CSA<sub>1</sub> + CSA<sub>2</sub> = 349,63 mm<sup>2</sup>) para la primera varilla y una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar de aproximadamente 400 mm<sup>2</sup> (CSA<sub>3</sub> = 403,8 mm<sup>2</sup>) para la segunda varilla. Por lo tanto, en comparación con el ejemplo 1B, los ejemplos 1-1 y 1-2, permiten preparar preformas gruesas con un diámetro total D.Total de aproximadamente 150 mm aunque se utilizan bancadas de deposición de capacidad pequeña y media.
- 15 **[0075]** De manera similar, el ejemplo 2 requiere una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar del orden de 340 mm<sup>2</sup> (CSA<sub>1</sub> + CSA<sub>2</sub> = 337,83 mm<sup>2</sup>) para la primera varilla y una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar del orden de 670 mm<sup>2</sup> (CSA<sub>3</sub> = 672 mm<sup>2</sup>) para la segunda varilla. Por lo tanto, en comparación con el ejemplo 2B, el ejemplo 2 permite realizar una preforma muy gruesas con un diámetro total D.Total de aproximadamente 190 mm, utilizando bancadas de deposición de capacidad media.
- 20 **[0076]** Igualmente, el ejemplo 3-1 requiere una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar del orden de 430 mm<sup>2</sup> para la primera varilla y una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar del orden de 670 mm<sup>2</sup> para la segunda varilla; el ejemplo 3-2 requiere una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar de aproximadamente 240 mm<sup>2</sup> para la primera varilla y una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar de aproximadamente 670 mm<sup>2</sup> para la segunda varilla; y el ejemplo 3-3 requiere una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar de aproximadamente 80 mm<sup>2</sup> para la primera varilla y una bancada de deposición que tiene una CSA a depositar de aproximadamente 670 mm<sup>2</sup> para la segunda varilla. Por lo tanto, en comparación con el ejemplo 3B, los ejemplos 3-1, 3-2 y 3-3 permiten realizar preformas gruesas que tienen un diámetro total D. Total de aproximadamente 158 mm, utilizando bancadas de deposición de capacidad pequeña y media.
- 25 **[0077]** En la tabla V, el valor de depósitos CSA designan el área de la sección transversal de las zonas obtenidas por deposición, es decir, los valores CSA<sub>1</sub>, CSA<sub>2</sub> y CSA<sub>3</sub> se añaden conjuntamente. El valor CSA<sub>Tubo</sub>, designa el área de sección transversal de las zonas ocupadas por los tubos utilizados para fabricar la preforma, es decir, los valores CSA<sub>T10</sub> y CSA<sub>T20</sub> se añaden conjuntamente. El valor del sobre revestimiento CSA, designa el área de la sección transversal de la zona obtenida por superposición de la segunda varilla con el fin de obtener la preforma final lista para el estirado. El valor total CSA designa el área de la sección transversal de la preforma construida. La
- 30
- 35
- 40

tabla V también proporciona las relaciones de estos valores para cada ejemplo comparado con los ejemplos comparativos.

5

Tabla V

	CSA. Depósito	CSA. Tubo	CSA. Sobre-revestimiento	CSA. Total	CSA.Depósitos/ CSA. Total
Unidad	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	-
Ej. comp. 1A	340,1	189,6	7090	7620	4,46%
Ej. comp. 1 B	798,2	445,2	16641	17884	4,46%
Ej. 1-1	617,6	469,2	16797	17884	3,45%
<i>Ratio ej. 1-1/ej. comp. 1A</i>	1,82	2,47	2,37	2,35	0,77
Ej. 1-2	753,4	333,4	16797	17884	4,21%
<i>Ratio ej. 1-2/ej.comp. 1A</i>	2,22	1,76	2,37	2,35	0,94
<i>Ej. comp. 2A</i>	551,5	285,2	11201	12038	4,58%
Ej. Comp. 2B	1295,3	669	26299	28263	4,58%
Ej. 2	1009,8	706,7	26547	28264	3,57%
<i>Ratio ej. 2/ej.comp. 2A</i>	1,83	2,48	2,37	2,35	0,78
Ej, comp. 3A	340,9	350,7	5377	6069	5,62%
Ej. comp. 3B	1101	610,5	17895	19607	5,62%
Ej. 3-1	1101	287,8	18218	19607	5,62%

	CSA. Depósito	CSA. Tubo	CSA. Sobre revestimiento	CSA. Total	CSA.Depósitos/ CSA. Total
<i>Ratio ej. 3-1/ej.comp 3A</i>	3,23	0,82	3,39	3,23	1,00
Ej. 3-2	914,2	474,6	18218	19607	4,66%
<i>Ratio ej. 3-2/ej. comp. 3A</i>	2,68	1,35	3,39	3,23	0,83
Ej. 3-3	750,3	638,5	18218	19607	3,83%
<i>Ratio ex. 3-3/ej.comp.3A</i>	2,20	1,82	3,39	3,23	0,68

- 10 El procedimiento de la invención hace posible obtener preformas que tienen zanjas enterradas de tamaños muy grandes. En particular, la CSA de la zanja enterrada CSA<sub>3</sub> se encuentra en el intervalo de 300 mm<sup>2</sup> a 700 mm<sup>2</sup>. Además, el procedimiento de la invención hace posible fabricar preformas de gran capacidad mientras se utilizan bancadas de deposición de capacidad pequeña y/o media. En particular, las CSA de las zonas depositadas en cada una de las varillas (CSA<sub>1</sub> + CSA<sub>2</sub> en la primera varilla 10 y CSA<sub>3</sub> en la segunda varilla 20) es inferior a 700 mm<sup>2</sup>,  
15 aunque la preforma final sea de gran tamaño con un diámetro mayor o igual a 140 mm.  
**[0078]** La productividad de la fabricación de fibras ópticas estirada a partir de una preforma fabricada por el procedimiento de la invención es de este modo mejorada. En el ejemplo 1-1, la productividad se aumenta en un 29% con respecto al ejemplo comparativo 1A. La preforma del ejemplo 1-1, requiere 1,82 veces más deposición que la preforma del ejemplo comparativo 1A de la técnica anterior, pero presenta una capacidad que es 2,35 veces mayor.  
20 Para una cantidad de deposición dada, es por lo tanto posible estirar el 29% más fibra con una preforma del ejemplo 1-1 en comparación con las preformas 1A y 1B de la técnica anterior. Utilizando el mismo razonamiento, en el

ejemplo 1-2, el aumento de la productividad es del 6% en comparación con los ejemplos 1A y 1B; con el ejemplo 2, el aumento de la productividad es del 28% con respecto a los ejemplos 2A y 2B.

5 **[0079]** En el ejemplo 3-1, en el que el primer tubo de la primera varilla se elimina completamente por ataque químico, no hay aumento de la productividad ya que la proporción de depósito es la misma que en el ejemplo comparativo. Sin embargo, es posible fabricar la preforma mucho más rápidamente porque la primera y segunda varillas se fabrican por separado. Con los ejemplos 3-2 y 3-3, los aumentos de productividad son respectivamente del 20% y 47% en comparación con los ejemplos 3A y 3B.

10 **[0080]** El procedimiento de la invención hace así posible hacer una preforma de gran capacidad sin requerir modificación significativa del equipo. Además, la primera y la segunda varillas se pueden fabricar en paralelo, aumentando así el rendimiento de fabricación de la preforma.

**[0081]** La preforma tal como se obtiene de esta manera, permite una mayor longitud de fibra a estirar y que se encuentra particularmente bien adaptada para su utilización en sistemas de fibra óptica instalados en clientes, del tipo FTTH o FTTC, en los que la fibra óptica está sometida a severas limitaciones por curvatura debido a la miniaturización de las unidades ópticas o a la fijación por grapado.

15 **[0082]** En particular, la fibra óptica estirada a partir de una preforma de la invención satisface los criterios de la recomendación G.652 en términos de dispersión cromática, diámetro modal y longitud de onda de corte. La fibra óptica estirada a partir de una preforma de la invención satisface también los criterios de la recomendación G.657 en términos de pérdidas por curvatura.

20 **[0083]** La invención también permite fabricar tubos de gran capacidad y de muy buena calidad. El índice de refracción y el volumen de la zanja pueden ser muy bien controlados utilizando el procedimiento de la invención. En particular, la diferencia del índice de refracción de la zanja enterrada con respecto al revestimiento exterior, presenta una variación longitudinal de toda la longitud del tubo inferior al 10% y el volumen de la zanja enterrada presenta una variación longitudinal inferior al 15% en toda la longitud del tubo.

25 **[0084]** Un tubo de este tipo puede utilizarse como tubo de partida para fabricar una preforma primaria por deposición química en fase vapor (CVD). Una vez que la deposición se ha realizado dentro de dicho tubo, la preforma primaria está construida o se ajusta a la misma una funda con el fin de producir una preforma final y una fibra óptica puede ser estirada a partir de la preforma final.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para fabricar una preforma de fibra óptica que comprende, desde el centro hacia la periferia, un núcleo central, un revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un revestimiento exterior, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- preparar una primera varilla (10) que constituye al menos el núcleo central, siendo preparada la primera varilla (10) por deposición química en fase vapor (CVD) en un primer tubo;
  - preparar una segunda varilla hueca (20) que constituye, al menos, la zanja enterrada, preparándose la segunda varilla (20) por deposición química en fase vapor (CVD), preferentemente por deposición química en fase de vapor asistida por plasma (PCVD), en un segundo tubo; y
  - ajustar la segunda varilla (20) como funda sobre la primera varilla (10).
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye además:
- i) una etapa consistente en el estirado de la primera varilla (10) antes de ajustar la segunda varilla (20) como funda; y/o
  - ii) una etapa consistente en ataque químico de, al menos, una parte del primer tubo antes de ajustar la segunda varilla (20) como una funda; y/o
  - iii) una etapa de sobre revestimiento del exterior de la segunda varilla (20) o ajustar a la misma una funda con el fin de alcanzar un diámetro final de la preforma superior o igual a 140 mm.
3. Procedimiento de la reivindicación 2, donde el área de la sección transversal de las zonas depositadas en cada una de las varillas es inferior a  $700 \text{ mm}^2$ .
4. Procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que la zanja enterrada:
- i) es depuesta con unos dopantes a una concentración controlada, de manera que la zanja enterrada presenta una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior comprendida en el intervalo  $-4 \times 10^{-3}$  a  $-10 \times 10^{-3}$ ; y/o
  - ii) teniendo la concentración de dopantes controlada, de tal manera que la zanja enterrada presenta una variación longitudinal de índice inferior al 10% sobre toda la longitud de la segunda varilla (20); y/o
  - iii) es depuesta hasta que la zanja enterrada presenta una superficie de sección transversal comprendida entre  $300 \text{ mm}^2$  y  $700 \text{ mm}^2$ , presentando, preferiblemente, el área de la sección transversal de la zanja enterrada una variación longitudinal inferior al 10% en toda la longitud de la segunda varilla (20); y/o
  - iv) es depuesta con un control de concentración de dopante hasta que la zanja enterrada presenta un valor para el producto de la CSA (área de sección transversal) de la zanja enterrada multiplicado por la diferencia de índice de refracción  $\Delta n_3$  de la zanja enterrada y dividido por el número Pi ( $\pi$ ), comprendido en el intervalo de  $-2550 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  a  $-760 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ , presentando, preferiblemente, el valor de dicho producto una variación longitudinal de menos del 15% en toda la longitud de la segunda varilla (20).
5. Preforma de fibra óptica que comprende, desde el centro hacia la periferia, un núcleo central, un revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un revestimiento exterior, en el que la zanja enterrada presenta:
- una diferencia de índice de refracción respecto del revestimiento exterior comprendida en el intervalo  $-4 \times 10^{-3}$  a  $-10 \times 10^{-3}$  con una variación longitudinal inferior al 10% en toda la longitud de la preforma; y
  - un valor para el producto de la CSA de la zanja enterrada multiplicado por la diferencia del índice de refracción  $\Delta n_3$  de la zanja enterrada y dividido por el número Pi ( $\pi$ ), comprendido en el intervalo  $-2550 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  a  $-760 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  con una variación longitudinal inferior al 15% en toda la longitud de la preforma; presentando, opcionalmente, dicha preforma un diámetro mayor o igual a 140 mm.
6. Preforma de la reivindicación 5, en la que la zanja enterrada presenta un área de sección transversal comprendida entre  $300 \text{ mm}^2$  y  $700 \text{ mm}^2$ , presentando, preferiblemente, el área de la sección transversal de la zanja enterrada una variación longitudinal inferior al 10% en toda la longitud de la preforma.
7. Preforma de una cualquiera de las reivindicaciones 5 y 6, en la que el núcleo presenta una diferencia de índice de refracción:
- i) con respecto al revestimiento exterior situada en el intervalo de  $4 \times 10^{-3}$  a  $6 \times 10^{-3}$  y/o
  - ii) con respecto al revestimiento intermedio comprendido en el intervalo de  $4 \times 10^{-3}$  a  $6 \times 10^{-3}$ .
8. Procedimiento para fabricar una fibra óptica, que comprende las etapas que consisten en:
- fabricar una preforma de acuerdo con el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4; y
  - estirar una fibra óptica a partir de la mencionada preforma en una torre de estirado de fibra.
9. Fibra óptica obtenida mediante el estirado de la preforma según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7.
10. Sistema de transmisión de fibra óptica que comprende, al menos, una porción de fibra de acuerdo con la reivindicación 9 o, al menos una porción de fibra fabricada por el procedimiento de la reivindicación 8.

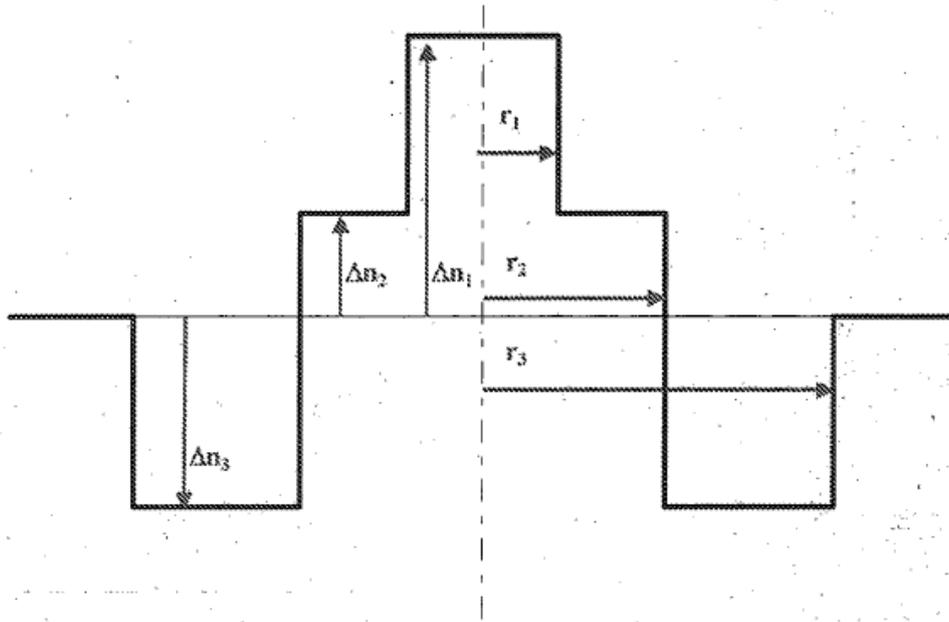


FIG. 1

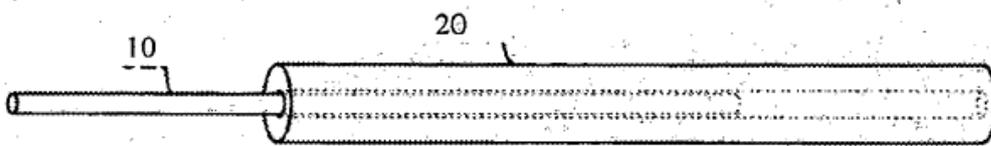
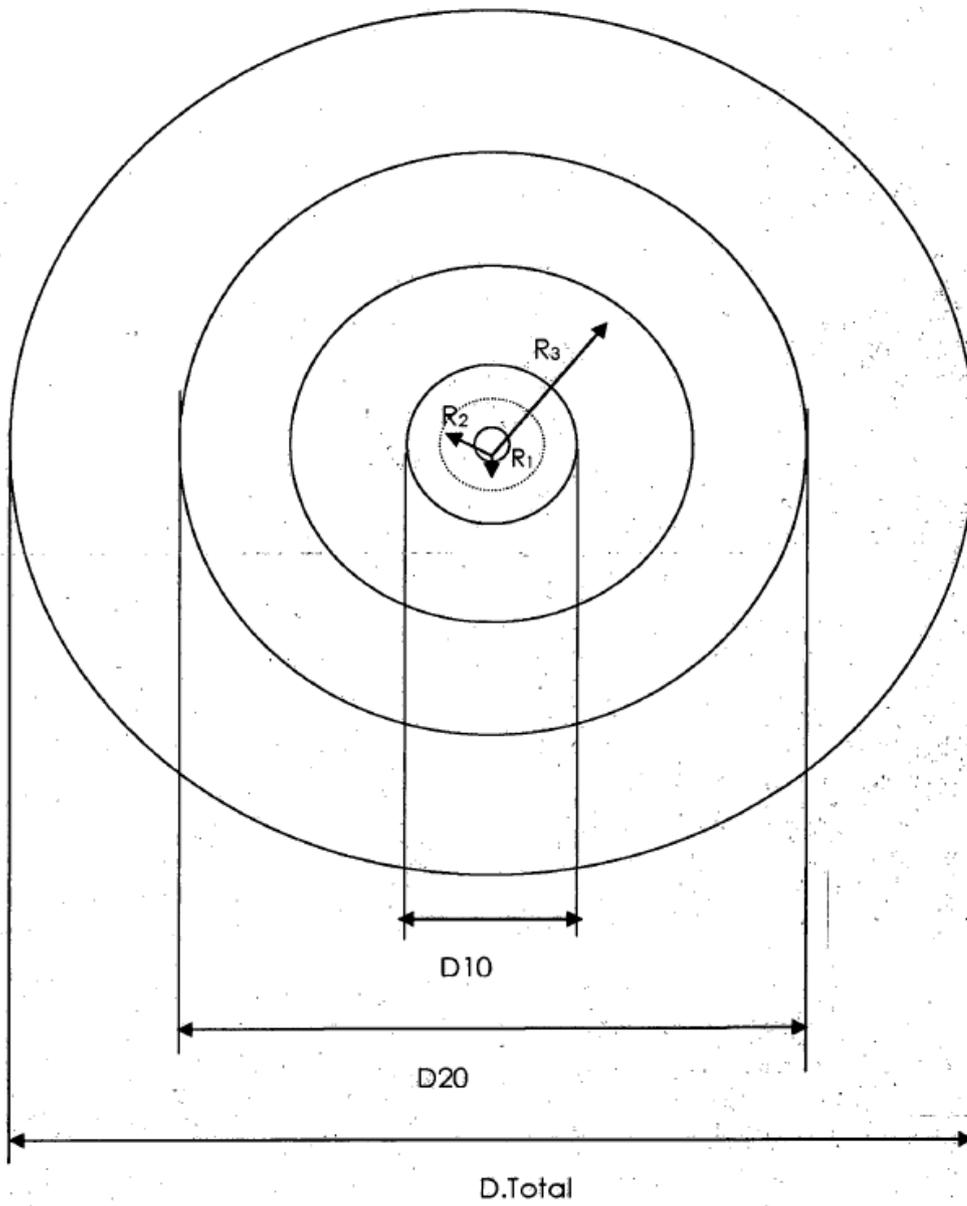


FIG. 2



**FIG.3**

**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**

- EP 1845399 A [0008] [0013]
- EP 1785754 A [0008] [0013]
- WO 2007009450 A [0009]
- FR 2896795 A [0010]
- US 2008031582 A [0010]
- EP 1000909 A [0015]
- WO 2008087132 A [0016]
- WO 2010003856 A [0016]
- US 20070003198 A [0017]

10