

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 009**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/02** (2006.01)

**G02B 6/036** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.07.2016 PCT/IB2016/001278**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **01.02.2018 WO18020287**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2016 E 16788189 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2020 EP 3491436**

54 Título: **Fibra óptica de diámetro reducido y procedimiento de fabricación de la misma**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**23.04.2021**

73 Titular/es:  
**DRAKA COMTEQ FRANCE (100.0%)**  
**23 Avenue Aristide Briand**  
**89100 Paron, FR**

72 Inventor/es:  
**PASTOURET, ALAIN;**  
**SILLARD, PIERRE y**  
**DE MONTMORILLON, LOUIS-ANNE**

74 Agente/Representante:  
**ARPE FERNÁNDEZ, Manuel**

ES 2 821 009 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Fibra óptica de diámetro reducido y procedimiento de fabricación de la misma

## 5 1. Campo Técnico

**[0001]** La presente invención se refiere al ámbito de la estructura de las guías de onda ópticas del tipo de fibra óptica.

## 10 2. Técnica anterior

**[0002]** Las fibras ópticas se utilizan para transmitir información a largas distancias, a la velocidad de la luz, a través de vidrio. El despliegue de la fibra óptica ha experimentado un gran empuje, debido al desarrollo de los diversos sectores comerciales FTTx (como la Fibra hasta el hogar (FTTH) o la Fibra hasta el armario (FTTC)). En este contexto, se está produciendo una demanda cada vez mayor de diseños de cable de alta densidad o de dimensiones reducidas, lo que significaría una reducción de las dimensiones del cable para un número dado de fibras o la inserción de un número mayor de fibras para una sección de cable dada.

**[0003]** El documento de patente US 8.600.206 describe una fibra óptica de pequeño diámetro, que comprende un núcleo y un revestimiento, una envoltura primaria que rodea al revestimiento y una envoltura secundaria que rodea la envoltura primaria. No obstante, el módulo in situ de la envoltura primaria descrita en dicho documento es demasiado elevado para permitir que el nivel de pérdida por micro curvatura de una fibra de 180  $\mu\text{m}$  de diámetro sea parecido al de una fibra estándar de 245  $\mu\text{m}$ , que es de aproximadamente 1.5 dB/km a 1550 nm.

**[0004]** El documento de patente WO2014/172143 A1 describe una fibra óptica revestida de pequeño diámetro, cuya envoltura primaria tiene un módulo in situ de 0,50 MPa o inferior, mientras que la envoltura secundaria presenta un módulo in situ de 1500 MPa o superior.

**[0005]** Sin embargo, debido al nivel excesivo del módulo in situ de la envoltura secundaria, en comparación con el módulo primario, y el espesor primario-secundario, la fibra descrita en WO2014/172143 A1 presenta la desventaja de aumentar las pérdidas por micro curvatura en comparación con una fibra estándar de 245  $\mu\text{m}$ . Asimismo, la excesiva diferencia entre los módulos primario y secundario se traduce en una variación excesiva entre los coeficientes de expansión térmica de los distintos materiales, y provoca la delaminación de la envoltura y el aumento de la atenuación de la fibra, especialmente a bajas temperaturas de funcionamiento.

**[0006]** Por tanto, resultaría deseable proporcionar unas fibras ópticas de 180  $\mu\text{m}$  de diámetro que sigan presentando unas propiedades satisfactorias, en comparación con las fibras estándar de 245  $\mu\text{m}$ , especialmente en lo que respecta a los principales atributos de la envoltura (pelado, adherencia al vidrio) y al rendimiento de la fibra en términos de pérdidas por micro curvatura y fiabilidad mecánica bajo tensión.

## 35 3. Sumario

**[0007]** En una realización concreta de la invención se describe una fibra óptica que comprende un núcleo y un revestimiento que rodea al núcleo, y que posee un diámetro exterior de 125  $\mu\text{m}$ , comprendiendo la fibra óptica una envoltura primaria endurecida que rodea directamente el revestimiento, y una envoltura secundaria endurecida que rodea directamente la envoltura primaria endurecida, teniendo dicha envoltura primaria endurecida un espesor  $t_1$  de entre 10 y 18  $\mu\text{m}$  y un módulo de elasticidad in situ  $E_{\text{mod}_1}$  de entre 0,10 y 0,18 MPa, teniendo dicha envoltura secundaria endurecida un espesor  $t_2$  inferior o igual a 18  $\mu\text{m}$  y un módulo de elasticidad in situ  $E_{\text{mod}_2}$  situado entre 700 y 1200 MPa, donde dichos primer y segundo espesor y dichos primer y segundo módulo de elasticidad in situ se ajustan a la siguiente ecuación:

$$4\% < (t_1 \times t_2 \times E_{\text{mod}_1} \times E_{\text{mod}_2}^3) / (t_{1\_norm} \times t_{2\_norm} \times E_{\text{mod}_{1\_norm}} \times E_{\text{mod}_{2\_norm}}^3) < 50\%$$

**[0008]** Donde ( $t_{1\_norm}$ ;  $t_{2\_norm}$ ;  $E_{\text{mod}_{1\_norm}}$ ;  $E_{\text{mod}_{2\_norm}}$ ) son los valores que caracterizan una fibra óptica estándar de 245  $\mu\text{m}$  de diámetro, y equivalen a (33,5  $\mu\text{m}$ ; 25  $\mu\text{m}$ ; 0,4 MPa; 800 MPa).

**[0009]** A pesar de su reducido diámetro, una fibra óptica de 180  $\mu\text{m}$  de diámetro según la invención presenta unas propiedades satisfactorias en comparación con las fibras estándar de 245  $\mu\text{m}$ , especialmente en lo que respecta a los atributos de la envoltura principal (pelado, adherencia al vidrio) y al rendimiento de la fibra en términos de pérdidas por micro curvatura y fiabilidad mecánica bajo tensión.

**[0010]** A este respecto, cuando dicha fibra de diámetro reducido de 180  $\mu\text{m}$  no tiene un diseño específico insensible a la curvatura, puede presentar pérdidas por micro curvatura inferiores a 5 dB/km a 1625nm (test del papel de lija: Procedimiento B del documento IEC-62221).

**[0011]** Esta ventaja técnica se consigue cuando se utiliza un revestimiento de vidrio con un diámetro exterior de 125  $\mu\text{m}$ . En realidad, este diámetro del revestimiento es común a todas las principales categorías de fibra presentes en el sector, lo que hace que la fibra sea fácil de implementar en la práctica.

**[0012]** Teniendo en cuenta que ya se ha fijado el diámetro del revestimiento de vidrio, la invención se basa principalmente en una selección no obvia de los parámetros de interacción que presenta la envoltura de doble capa. La selección de estos parámetros ejerce un impacto significativo sobre los atributos de la fibra, debido no sólo a sus variaciones individuales, sino también a la combinación específica de las diferentes variaciones en los parámetros.

**[0013]** Para ser más específicos, la selección de un espesor primario  $t_1$  superior a 18  $\mu\text{m}$  resulta positiva desde el punto de vista de los rendimientos en micro curvatura, pero va en detrimento de la fuerza media de pelado de la fibra y de la fiabilidad mecánica de la fibra. De hecho, en el caso de una fibra de 180  $\mu\text{m}$  de diámetro, esto se traduce en una envoltura secundaria con un espesor  $t_2$  inferior a 10  $\mu\text{m}$ , que no basta para garantizar una adecuada protección mecánica a la fibra, sobre todo con una envoltura primaria que tenga un módulo de elasticidad muy bajo.

**[0014]** Por el contrario, la selección de un espesor primario  $t_1$  inferior a 10  $\mu\text{m}$  hace, en primer lugar, que las pérdidas por micro curvatura aumenten más allá de lo esperado, sin que pueda corregirse actuando sobre otros parámetros (módulos primario y secundario). En segundo lugar, influye sobre la capacidad de pelado de la fibra, dado que entonces es muy difícil evitar dejarse elementos primarios de la envoltura sobre la fibra desnuda, incluso tras su limpieza. Lo mismo sucede cuando se selecciona un espesor secundario  $t_2$  superior a 18  $\mu\text{m}$ , teniendo en cuenta la limitación inducida del espesor  $t_1$  de la envoltura primaria.

**[0015]** La selección de un módulo primario  $E_{\text{mod}_1}$  (también denominado "Módulo de Young" o "módulo elástico") inferior a 0,10 MPa también resulta positiva desde el punto de vista del rendimiento de la micro curvatura aunque, por otra parte, afecta negativamente al nivel de fuerza de tracción que mide la adherencia de la envoltura primaria a la superficie de vidrio del recubrimiento, lo que puede dar pie a problemas de delaminación con el envejecimiento. Por el contrario, la selección de un módulo primario  $E_{\text{mod}_1}$  superior a 0,18 MPa incrementa las pérdidas por micro curvatura de la fibra.

**[0016]** La selección de un módulo secundario  $E_{\text{mod}_2}$  inferior a 700 MPa no puede compensar el bajísimo módulo primario  $E_{\text{mod}_1}$  para conseguir suficiente fuerza de la fibra con un espesor secundario inferior a 18  $\mu\text{m}$ . Cuando el módulo secundario  $E_{\text{mod}_2}$  es superior a 1200 MPa, los modelos de pérdidas por micro curvatura muestran que no es posible mantener unos niveles de pérdidas por micro curvatura de la fibra de un diseño de 180  $\mu\text{m}$  parecidos a los de un producto actual de 245  $\mu\text{m}$ .

**[0017]** Además, lo que constituye una clara perspectiva de la importancia de combinar adecuadamente entre sí los diferentes parámetros, una proporción  $(t_1 \times t_2 \times E_{\text{mod}_1} \times E_{\text{mod}_2}) / (t_{1\_norm} \times t_{2\_norm} \times E_{\text{mod}_{1\_norm}} \times E_{\text{mod}_{2\_norm}})$  inferior a un 4% o superior a un 50% se traduce en una diferencia excesiva entre los módulos primario y secundario, y por tanto, en una diferencia excesiva entre los respectivos coeficientes de expansión térmica del material (TEC) de las envolturas primaria y secundaria. De este modo, da lugar a posibles problemas de delaminación de la envoltura al tiempo que hace que aumenten las pérdidas por micro curvatura de la fibra, especialmente a temperaturas de funcionamiento muy bajas.

**[0018]** Así pues, resulta esencial proceder a la selección de los diferentes parámetros no sólo en lo que respecta a la idoneidad de su impacto sobre los atributos de la fibra, sino también en lo que concierne al impacto de su interacción sobre los atributos de la fibra, y especialmente sobre las pérdidas por micro curvatura.

**[0019]** En una realización específica, tanto el núcleo como el recubrimiento están constituidos por sílice, que puede estar dopado o no.

**[0020]** En una realización específica, la envoltura primaria endurecida tiene un rendimiento de tasa de endurecimiento tras el endurecimiento por radiación UV superior a una cifra situada entre el 80 y el 90% al cabo de una semana desde el tendido de la fibra, preferiblemente entre un 82 y un 87%.

**[0021]** Esta proporción se calcula utilizando la técnica de la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) sobre un elemento endurecedor de la envoltura que se ha extraído directamente de la fibra. Esta técnica mide la cantidad de funciones residuales de acrilato reactivo a la luz UV que se encuentran presentes en la envoltura, en comparación con la cantidad inicial presente en el estado de resina. El procedimiento FTIR se describe más adelante.

**[0022]** En una realización concreta, la envoltura secundaria endurecida tiene un rendimiento de tasa de endurecimiento tras su endurecimiento mediante radiación UV de entre un 94 y un 98% al cabo de una semana desde el tendido de la fibra, y preferiblemente de entre un 95 y un 97%.

**[0023]** El rendimiento de la tasa de endurecimiento de la envoltura secundaria se caracteriza esencialmente por el mismo procedimiento que en el caso de la envoltura primaria, y se describe seguidamente.

**[0024]** El endurecimiento de la envoltura que acaba de indicarse puede obtenerse mediante procedimientos conocidos en la técnica actual para someter las fibras ópticas a radiación UV, por ejemplo, mediante lámparas UV alimentadas por microondas, o mediante tecnologías LED UV.

**[0025]** En una realización específica, la envoltura primaria tiene un espesor  $t_1$  de entre 10 y 16  $\mu\text{m}$ .

**[0026]** Dicha selección de la gama de espesores primarios  $t_1$  permite aumentar el espesor secundario  $t_2$ , mejorando por tanto el comportamiento mecánico de la fibra óptica.

**[0027]** En una realización concreta, la envoltura secundaria presenta un módulo de elasticidad  $E_{\text{mod}_2}$  superior a 1000MPa.

**[0028]** Dicha selección del módulo de elasticidad secundario  $E_{\text{mod}_2}$  permite mejorar el comportamiento mecánico de la fibra óptica.

**[0029]** En una realización concreta, la fibra óptica 1 presenta un diseño insensible a la curvatura.

**[0030]** El diseño insensible a la curvatura ayuda a reducir las pérdidas por micro curvatura de la fibra.

**[0031]** En una realización concreta, el recubrimiento 3 comprende una zona deprimida, que es preferiblemente una zanja.

**[0032]** En una realización concreta, la fibra óptica posee un núcleo 2 cuyo índice de refracción presenta una diferencia positiva con el recubrimiento exterior de cuarzo. El núcleo está rodeado por un recubrimiento 3, una parte del cual comprende una zanja con una diferencia negativa en su índice de refracción frente al recubrimiento exterior.

**[0033]** Preferiblemente, la fibra con el diámetro más reducido es compatible con una fibra de modo único estándar, de tal forma que: La fibra óptica de menor diámetro presenta un valor de corte de cable inferior o igual a 1260 nm.

[0034] La fibra óptica de menor diámetro presenta un valor de diámetro de campo modal (MFD) de entre 8,6 y 9,5  $\mu\text{m}$  a 1310 nm.

[0035] La fibra óptica de menor diámetro presenta una longitud de onda de dispersión cero de entre 1300 y 1324nm.

5 [0036] Preferiblemente, la fibra se ajusta a las especificaciones de pérdidas por macro curvatura indicadas en las recomendaciones ITU-T G.657.A1 (octubre de 2012).

[0037] Más preferiblemente, la fibra se ajusta a las especificaciones de pérdidas por macro curvatura indicadas en las recomendaciones ITU-T G.657.A2 (octubre de 2012)

[0038] La invención también se refiere a un cable óptico que comprende al menos una de dichas fibras ópticas.

10 [0039] La invención también se refiere a un procedimiento para la fabricación de una fibra óptica a partir de un núcleo y un recubrimiento que rodea al núcleo, y cuyo diámetro exterior es de 125  $\mu\text{m}$ , donde dicho procedimiento comprende:

- Aplicación de una envoltura primaria directamente sobre el recubrimiento, con un espesor  $t_1$  de entre 10 y 18  $\mu\text{m}$ ,
- Endurecimiento de la envoltura primaria para obtener una envoltura primaria endurecida, con un módulo de elasticidad in-situ  $E_{\text{mod}_1}$  de entre 0,10 y 0,18 MPa,
- 15 • Aplicación de una envoltura secundaria directamente sobre la envoltura primaria endurecida, con un espesor  $t_2$  inferior o igual a 18  $\mu\text{m}$ ,
- Endurecimiento de la envoltura secundaria para obtener una envoltura secundaria endurecida, con un módulo de elasticidad in-situ  $E_{\text{mod}_2}$  de entre 700 y 1200 MPa,
- 20 • Llevándose a cabo las etapas precedentes de forma que dichos primer y segundo espesores y dichos primer y segundo módulos de elasticidad in-situ satisfagan la siguiente ecuación:

$$4\% < (t_1 \times t_2 \times E_{\text{mod}_1} \times E_{\text{mod}_2}^3) / (t_{1\_norm} \times t_{2\_norm} \times E_{\text{mod}_{1\_norm}} \times E_{\text{mod}_{2\_norm}}^3) < 50\%$$

[0040] Donde ( $t_{1\_norm}$ ;  $t_{2\_norm}$ ;  $E_{\text{mod}_{1\_norm}}$ ;  $E_{\text{mod}_{2\_norm}}$ ) son los valores que presenta una fibra óptica estándar de 245  $\mu\text{m}$  de diámetro, y equivalen a (33,5  $\mu\text{m}$ ; 25  $\mu\text{m}$ ; 0,4 MPa; 800 MPa).

25 [0041] Aunque no se describa explícitamente, las presentes realizaciones pueden utilizarse en cualquier combinación o subcombinación.

#### 5. Breve descripción de las figuras

30 [0042] La invención se comprenderá mejor haciendo referencia a la descripción y figuras que siguen, las cuales se ofrecen a modo de ejemplo y no limitan el ámbito de protección, y en las cuales:

- La figura 1 es una vista esquemática de la sección transversal de una fibra óptica según una realización de la invención.
- La figura 2 es una vista esquemática de la sección transversal de un cable óptico conforme a una realización
- 35 - de la invención;
- Las figuras 3a, 3b, 3c y 3d son cuatro ilustraciones de las diferentes fases de preparación de una muestra cuando se lleva a cabo una prueba primaria de módulo in situ  $E_{\text{mod}_1}$  sobre la fibra;
- Las figuras 4a, 4b son dos curvas obtenidas tras la realización del análisis DMA;
- 40 - La figura 5 es un organigrama que muestra las fases según una realización de la invención.

#### 6. Descripción de una realización

45 [0044] La presente invención se refiere a fibras ópticas y esta enfocada en la consecución de unas pérdidas por micro curvatura y otras magnitudes de rendimiento de la fibra similares a las que se obtienen con fibras de 245  $\mu\text{m}$ , pero con una fibra con un tamaño reducido hasta 180  $\mu\text{m}$ , gracias a una combinación específica de proporciones monómero-polímero, espesores y módulos de elasticidad de las envolturas primaria y secundaria.

50 [0045] Se recogen muchos detalles específicos de la invención en la siguiente descripción, así como en las figuras 1 a 5. Cualquier experto en la materia, sin embargo, comprenderá que la presente invención puede incluir realizaciones adicionales, o que la presente invención puede llevarse a cabo sin algunos de los detalles que se facilitan en la siguiente descripción.

##### 6.1 Realización particular de la fibra óptica de diámetro reducido

55 [0046] La figura 1 muestra de forma esquemática una fibra óptica 1 según una realización, que se define en torno a un eje de revolución X ortogonal al plano de la figura 1. La fibra 1 comprende un núcleo 2 y un recubrimiento 3 que rodea al núcleo 2, realizados ambos en sílice dopado o sin dopar. El recubrimiento 3 tiene un diámetro exterior de unos 125  $\mu\text{m}$ . Una envoltura primaria endurecida 4 con un rendimiento de tasa de endurecimiento de entre un 80 y un 90%, preferiblemente de entre 82 y 87%, se encuentra rodeando directamente el recubrimiento 3, con un espesor  $t_1$  situado entre 10 y 18  $\mu\text{m}$  y un módulo de elasticidad in-situ  $E_{\text{mod}_1}$  situado entre 0,10 y 0,18 MPa. Una envoltura

60 secundaria endurecida 5 con un rendimiento de tasa de endurecimiento de entre un 94 y un 98%, preferiblemente de entre 95 y 97%, se encuentra rodeando directamente la envoltura primaria endurecida 4, con un espesor  $t_2$  inferior o igual a 18  $\mu\text{m}$  y un módulo de elasticidad in-situ  $E_{\text{mod}_2}$  de entre 700 y 1200 MPa, con una proporción  $(t_1 \times t_2 \times E_{\text{mod}_1} \times E_{\text{mod}_2}^3) / (t_{1\_norm} \times t_{2\_norm} \times E_{\text{mod}_{1\_norm}} \times E_{\text{mod}_{2\_norm}}^3)$  de entre 4 y 50%.

[0047] Donde ( $t_{1\_norm}$ ;  $t_{2\_norm}$ ;  $E_{mod1\_norm}$ ;  $E_{mod2\_norm}$ ) son los valores que presenta una fibra óptica estándar de 245  $\mu\text{m}$  de diámetro, y son equivalentes a (33,5  $\mu\text{m}$ ; 25  $\mu\text{m}$ ; 0,4 MPa; 800 MPa).

[0048] Si no se verifican dichas características, la fibra de diámetro reducido no podrá presentar unas aceptables pérdidas por atenuación bajo tensión (especialmente, las pérdidas por micro curvatura serían más elevadas que las de las fibras estándar de 245  $\mu\text{m}$  de diámetro, y la variación de la atenuación a 1550nm podría no mantenerse dentro del rango de 0,05dB/km bajo un ciclo térmico de entre -60° C y +85° C).

[0049] En una realización, una pluralidad de estas fibras ópticas 1 se reagrupa dentro de la funda 7 que describe el perfil de un cable óptico 6, como se muestra en la figura 2.

## 6.2 Procedimiento de fabricación de una fibra óptica de diámetro reducido

[0050] El núcleo y el recubrimiento de las presentes fibras ópticas se pueden fabricar mediante diversos procedimientos de deposición química en fase de vapor que son bien conocidos en la industria para la producción de una varilla de núcleo, como la Deposición de Vapor Exterior (OVD), Deposición de Vapor Axial (VAD), Deposición química modificada en fase de vapor (MCVD), o Deposición química en fase de vapor activada por plasma (PCVD, PECVD). En una realización, las varillas del núcleo obtenidas mediante los procesos descritos más arriba pueden ir provistas de una capa adicional de sílice en el exterior, utilizando tubos prefabricados, como en el caso de los procesos de la varilla en tubo o de varilla en cilindro, o mediante procesos de deposición exterior, como la Deposición de Vapor Externo (OVD) la deposición avanzada de vapor de plasma (APVD). Las preformas obtenidas de este modo se estiran para obtener fibra óptica en una torre de tendido de fibra en la cual la preforma se calienta a una temperatura suficiente como para reblandecer el vidrio, por ejemplo, a una temperatura situada en torno a 2000° C o superior. La preforma se calienta introduciéndola en un horno y estirando una fibra de vidrio a partir del material fundido que se encuentra en la parte inferior del horno. En las fases posteriores, la fibra, al tiempo que se va estirando, se enfría a una temperatura inferior a 100° C y se le dota de la envoltura de diámetro reducido.

[0051] La envoltura se dispone en la superficie exterior del componente de vidrio de la fibra óptica, haciendo pasar la fibra a través de un aplicador de envoltura. En el aplicador, la envoltura líquida sin reaccionar se aplica a la fibra, y la fibra con envoltura se guía a través de un troquel de dimensionamiento con las dimensiones adecuadas. En algunos procesos se utilizan aplicadores con los que ambas envolturas, la primaria y la secundaria, se aplican a la fibra (lo que se denomina húmedo sobre húmedo). La fibra, con dos capas de envoltura, atraviesa después un sistema de endurecimiento para el endurecimiento de las dos envolturas. En otros procesos se utiliza un primer aplicador para la aplicación de la envoltura primaria en la fibra, que posteriormente se cura. Tras el endurecimiento (parcial) de la envoltura primaria, se aplica la envoltura secundaria en un segundo aplicador, tras lo que tiene lugar un segundo endurecimiento. La fuente de radiación UV puede proceder de lámparas alimentadas por microondas o lámparas LED.

[0052] Tras el endurecimiento de las envolturas, la fibra se guía por un torniquete, que tira de la fibra fundida extrayéndola del horno de estirado. Tras el torniquete, la fibra se guía a una bobina receptora.

## 6.3 Procedimientos de comprobación a realizar en las fibras ópticas para determinar los módulos de elasticidad in situ primario y secundario $E_{mod1}$ y $E_{mod2}$

[0053] El módulo primario  $E_{mod1}$  puede medirse directamente sobre la fibra o con la ayuda de un analizador mecánico dinámico (DMA) utilizando una muestra del revestimiento en película o a granel.

[0054] Por el contrario, no es posible medir el módulo secundario  $E_{mod2}$  directamente sobre la fibra 1.

### 6.3.1 Procedimiento de prueba del módulo in situ primario $E_{mod1}$ realizado en la fibra

#### A. Elección de la muestra

[0055] Se seleccionan muestras representativas de la fibra a las dos semanas de su estirado, procedentes de la parte central de una preforma.

#### B. Preparación de la muestra

[0056] Se cortan tres muestras de fibra de entre 50 y 60 cm cada una. A continuación, se pelan 2  $\mu\text{m}$  de envoltura a una distancia de unos 10 cm del extremo, como se muestra en la figura 3a.

[0057] Cada una de las muestras se pega a continuación en un portaobjetos de vidrio.

[0058] A este respecto, se coloca un portaobjetos 9 en un soporte de aluminio 20, que se ha preparado para alojar dicho portaobjetos. A continuación, se marca una referencia a 1cm desde el límite inferior del cristal, antes de pegar una cinta adhesiva 10 en dicha referencia, como se muestra en la figura 3b.

[0059] Seguidamente, la muestra de fibra 1 se coloca en el portaobjetos de forma que la parte de 2  $\mu\text{m}$  pelada 11 se encuentre justo fuera del portaobjetos. Posteriormente, la fibra se pega al portaobjetos, preferiblemente mediante una resina epoxi de dos componentes. Se utiliza una gota de resina de 1cm de diámetro 8 para fijar la fibra al portaobjetos de vidrio, como se muestra en la figura 3c.

#### C. Prueba del módulo $E_{mod}$ *in situ*

**[0060]** Cuando se ha endurecido el adhesivo, se corta la fibra de la parte superior del portaobjetos de vidrio y la muestra así preparada se sitúa en una bandeja de soporte de aluminio 20, como se muestra en la **figura 3d**, y se coloca bajo un vídeo-microscopio. La placa de soporte 20 tiene una hendidura 23 para guiar la fibra y una diminuta polea 24 para permitir que la fibra se mueva durante el ensayo. El portaobjetos se fija en una ranura 21 mediante mordazas de retención 22a, 22b. La fibra pelada de 2 µm 11 se encuentra por encima de la ranura de inspección 25.

**[0061]** Se obtiene una curva desplazamiento/peso midiendo el desplazamiento de la fibra por la zona pelada de 2 µm bajo la influencia de varios (normalmente cuatro) pesos. Debe tenerse cuidado para que para cada medida de desplazamiento la fibra deje de moverse al cabo de 4 a 5 segundos, y que, tras soltar todos los pesos de la fibra, la fibra regrese a su posición original.

**[0062]** Esta medida se repite para cada muestra de fibra.

**[0063]** Un dispositivo adecuado para la realización de este tipo de medidas es un microscopio con iluminación superior e inferior, equipado con una cámara de vídeo a color conectada a un monitor de vídeo en color y a un sistema de medición del desplazamiento.

**[0064]** El diámetro de la gota de resina 8 se mide con un calibre. Las dimensiones de la sección transversal de la fibra se miden en un banco de pruebas a fin de verificar el valor exacto del diámetro de la envoltura primaria y el diámetro de la fibra desnuda 11.

#### D. Resultados

**[0065]** Tras la medición de los desplazamientos, se calculan el módulo de cizallamiento y el módulo de elasticidad. En primer lugar, se calcula el módulo de cizallamiento, expresado en dinas /cm<sup>2</sup>. La fórmula habitual es la siguiente:

$$G_{eq} = \left( \frac{980.7}{m} \right) \frac{\ln \left( \frac{2R_2}{2R_1} \right)}{2\pi L}$$

Donde:

$G_{eq}$ : módulo de cizallamiento (dinas/cm<sup>2</sup>)

$m$ : pendiente de la función lineal de desplazamiento en función del peso (cm/g)

$R_1$ : diámetro de la fibra desnuda (µm)

$R_2$ : diámetro de la envoltura primaria (µm)

$L$ : longitud de la sección aislada de la fibra revestida en el portaobjetos (cm), bajo la gota de resina.

**[0066]** El módulo de cizallamiento, en unidades de dinas/cm<sup>2</sup> puede convertirse al módulo de elasticidad  $E_{eq}$  en MPa utilizando la siguiente fórmula de uso común:

$$E_{eq} = 2G_{eq}(1 + \nu) \times 10^{-7}$$

$E_{eq}$ : módulo de elasticidad (MPa)

$G_{eq}$ : módulo de cizallamiento (dinas/cm<sup>2</sup>)

$\omega$ : Coeficiente de Poisson

En esta relación, el coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) se aproxima a 0,5, teniendo en cuenta que el tipo de material de la envoltura primaria es una goma ideal, dentro de la extensión experimentada durante la medición.

#### 6.3.2 Procedimiento de comprobación del Módulo secundario in situ $E_{mod_2}$ sobre película

**[0067]** El módulo secundario in situ  $E_{mod_2}$  se mide utilizando muestras de fibra tubo de fibra desnudo.

**[0068]** Para obtener una muestra de tubo de fibra desnudo, se fija un pelacables Miller de 0,14 µm aproximadamente a 2,5 cm de extremo de la fibra revestida. El área de fibra de 2,5 cm que se extiende desde el pelacables se sumerge en un flujo de nitrógeno líquido y se mantiene durante 3 segundos. A continuación, se retira la fibra del flujo de nitrógeno líquido y se pela rápidamente. El extremo pelado de la fibra se inspecciona para comprobar que se ha retirado la envoltura. Si quedan restos de envoltura en el vidrio, se prepara de nuevo la muestra. El resultado será un tubo hueco de envoltura primaria y secundaria. Los diámetros del vidrio, de la envoltura primaria y de la envoltura secundaria se miden desde la cara del extremo de la fibra no pelada. Para medir el módulo secundario in situ, las muestras de tubo de fibra desnudo pueden medirse con un instrumento como el Rheometries DMT A IV a una longitud de calibre de muestra de 11 µm. La anchura, el espesor y la longitud de la muestra se determinan y se utilizan como dato de entrada para el software del instrumento. La muestra se monta y se comprueba utilizando un programa de temporización acelerada a temperatura ambiente (21° C) utilizando los siguientes parámetros:

Frecuencia: 1 Rad/sec

Tensión: 0,3%

Tiempo total = 120 segundos.

Tiempo por medición = 1s

Fuerza estática inicial = 15,0 [g]

Fuerza estática > Dinámica en = 10,0 [%]

[0069] Una vez completado, los últimos cinco puntos de datos E' (módulo de almacenamiento) se promedian. Cada muestreo se lleva a cabo tres veces (nueva muestra por cada pase) para un total de quince puntos de datos. El valor promedio de los tres pases se establecerá como el módulo secundario *in situ*.

5 6.4 Procedimiento de ensayo para la medida del rendimiento de endurecimiento de la envoltura mediante FTIR

A – Con arreglo al rendimiento de endurecimiento de la envoltura primaria:

10 a) Medición de la proporción de superficie de acrilato en el estado de la resina

[0070] En primer lugar se lleva a cabo un espectro de fondo con el dispositivo FTIR.

15 [0071] A continuación se deposita una gotita de resina primaria en la parte superior del receptáculo del dispositivo FTIR. A continuación, se obtiene el espectro FTIR. El FITR subtrae el espectro de fondo para obtener el espectro primario FTIR.

[0072] En el espectro, el área del pico de acrilato residual se mide entre 813 y 798 cm<sup>-1</sup>.

[0073] A continuación se mide el área de un pico de referencia entre 1567 y 1488 cm<sup>-1</sup>.

20 [0074] A continuación se obtiene la proporción de acrilato en la resina dividiendo el área de pico del acrilato por el área de pico de referencia.

b) Medición de la proporción de superficie de acrilato en el estado de la envoltura

[0075] En primer lugar se lleva a cabo un espectro de fondo con el dispositivo FTIR.

25 [0076] A continuación se retira una pieza de envoltura de 5 µm de la fibra revestida una semana después de tenderla, utilizando una cuchilla, y el lado convexo se sitúa en la parte superior del receptáculo del FTIR. A continuación, se obtiene el espectro FTIR. El FITR subtrae el espectro de fondo para obtener el espectro primario FTIR.

[0077] En el espectro, el área del pico de acrilato residual se mide entre 813 y 798 cm<sup>-1</sup>.

[0078] A continuación se mide el área de un pico de referencia entre 1567 y 1488 cm<sup>-1</sup>.

30 [0079] A continuación se obtiene la proporción de acrilato en la envoltura dividiendo el área de pico del acrilato por el área de pico de referencia.

c) Medición del rendimiento de endurecimiento de la envoltura primaria

35 [0080] El rendimiento de endurecimiento de la envoltura primaria se obtiene con arreglo a la fórmula siguiente:

$$\text{Endurecimiento primario (en \%)} = (1 - \text{proporción de acrilato en el revestimiento} / \text{proporción de acrilato en la resina}) * 100$$

40 B – Con arreglo al rendimiento de endurecimiento de la envoltura secundaria:

a) Medición de la proporción de superficie de acrilato en el estado de la resina

45 [0081] Se aplica el mismo procedimiento que para la resina primaria a fin de obtener la proporción de resina secundaria.

b) Medición de la proporción de superficie de acrilato en el estado de la envoltura

[0082] En primer lugar se lleva a cabo un espectro de fondo con el dispositivo FTIR.

50 [0083] A continuación, una fibra revestida de 30cm se corta una semana después del estiramiento en fragmentos de 2 a 3cm de longitud, que se ensamblan para formar un manojo, que se coloca en la parte superior del receptáculo del dispositivo FTIR. A continuación, se obtiene el espectro FTIR. El FITR subtrae el espectro de fondo para obtener el espectro primario FTIR.

[0084] En el espectro, el área del pico de acrilato residual se mide entre 813 y 798 cm<sup>-1</sup>.

55 [0085] A continuación se mide el área de un pico de referencia entre 1567 y 1488 cm<sup>-1</sup>.

[0086] A continuación se obtiene la proporción de acrilato en la envoltura dividiendo el área de pico del acrilato por el área de pico de referencia.

c) Medición del rendimiento de endurecimiento de la envoltura primaria

60 [0087] El rendimiento de endurecimiento de la envoltura primaria se obtiene con arreglo a la fórmula siguiente:

$$\text{Endurecimiento secundario (en \%)} = (1 - \text{proporción de acrilato en el revestimiento} / \text{proporción de acrilato en la resina}) * 100$$

65 6.5 Pruebas realizadas para determinar la estabilidad térmica de las fibras ópticas

- 5 **[0088]** Se han realizado ensayos para poner a prueba la estabilidad térmica de una fibra óptica según la invención. En este sentido, se ha trabajado sobre 1 km de dicha fibra en una bobina libre, en un intervalo de temperaturas situado entre -60° C y +70° C. Como resultado, se ha medido el cambio en la atenuación de una señal luminosa con unas longitudes de onda de 1550 nm y 1625 nm a 0,05 dB/km para una fibra del tipo conocido G657A2 (Fibra óptica FTTH BendBrightXS®, fabricada por Prysmian Group). Dicha minimización de la atenuación de la luz en una fibra óptica es sin duda un rendimiento significativo, que distingue la invención frente a la técnica anterior.

**REIVINDICACIONES**

1. Una fibra óptica (1) que comprende un núcleo (2) y un recubrimiento (3) que rodea al núcleo (2) y que tiene un diámetro exterior de 125 µm, comprendiendo la fibra óptica (1) una envoltura primaria endurecida (4) que rodea directamente el recubrimiento (3) y una envoltura secundaria endurecida (5) que rodea directamente la envoltura primaria endurecida (4), donde dicha envoltura primaria endurecida (4) tiene un espesor  $t_1$  de entre 10 y 18 µm y un módulo de elasticidad *in situ*  $E_{mod_1}$  de entre 0,10 y 0,18 MPa, teniendo dicha envoltura secundaria endurecida (5) un espesor  $t_2$  inferior o igual a 18 µm y un módulo de elasticidad *in-situ*  $E_{mod_2}$  de entre 700 y 1200 MPa, donde dichos primer y segundo espesor y dichos primer y segundo módulo de elasticidad *in situ* se ajustan a la siguiente ecuación:

$$4\% < (t_1 \times t_2 \times E_{mod_1} \times E_{mod_2}^3) / (t_{1\_norm} \times t_{2\_norm} \times E_{mod_{1\_norm}} \times E_{mod_{2\_norm}}^3) < 50\%$$

2. La fibra óptica (1) según la reivindicación 1, donde tanto el núcleo (2) como el recubrimiento (3) están realizados en sílice dopado o sin dopar.

3. La fibra óptica (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, cuya envoltura primaria endurecida (4) presenta un rendimiento de proporción de endurecimiento tras el endurecimiento con radiación UV de entre un 80 y un 90% al cabo de una semana del estiramiento, preferiblemente entre 82 y 87%.

4. La fibra óptica (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, cuya envoltura secundaria endurecida (5) presenta un rendimiento de proporción de endurecimiento tras el endurecimiento con radiación UV de entre un 94 y un 98%, preferiblemente entre 95 y 97%

5. La fibra óptica (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, cuya envoltura primaria (4) tiene un espesor  $t_1$  de entre 10 y 16 µm.

6. La fibra óptica (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, cuya envoltura secundaria (5) tiene un módulo de elasticidad  $E_{mod_2}$  superior a 1000MPa.

7. La fibra óptica (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a to 6, presentando dicha fibra óptica (1) un diseño insensible a curvatura.

8. La fibra óptica (1) según la reivindicación 7, cuyo recubrimiento (3) comprende un área deprimida, que es preferiblemente una zanja.

9. Un cable de fibra óptica (6) que comprende al menos una fibra óptica (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

10. Un procedimiento (12) de fabricación de una fibra óptica (1) a partir de un núcleo (2) y un recubrimiento (3) que rodea al núcleo (2) y cuyo diámetro exterior es de 125 µm, comprendiendo dicho procedimiento (12):

- Aplicación (S1) de una envoltura primaria directamente sobre el recubrimiento (3), con un espesor  $t_1$  de entre 10 y 18 µm,

- Endurecimiento (S2) de la envoltura primaria para obtener una envoltura primaria endurecida (4), con un módulo de elasticidad *in situ*  $E_{mod_1}$  de entre 0,10 y 0,18 MPa,

- Aplicación (S3) de una envoltura secundaria directamente sobre la envoltura primaria endurecida (4), con un espesor  $t_2$  inferior o igual a 18 µm,

- Endurecimiento (S4) de la envoltura secundaria (5) para obtener una envoltura secundaria endurecida (5), con un módulo de elasticidad *in-situ*  $E_{mod_2}$  de entre 700 y 1200 MPa,

- Llevándose a cabo las etapas precedentes de forma que dichos primer y segundo espesores y dichos primer y segundo módulos de elasticidad *in situ* satisfagan la siguiente ecuación:

$$4\% < (t_1 \times t_2 \times E_{mod_1} \times E_{mod_2}^3) / (t_{1\_norm} \times t_{2\_norm} \times E_{mod_{1\_norm}} \times E_{mod_{2\_norm}}^3) < 50\%$$

Donde  $t_{1\_norm}$  es el espesor de la envoltura primaria endurecida de una fibra óptica estándar de 245 µm de diámetro, que equivale a 33,5 µm,

$t_{2\_norm}$  es el espesor de la envoltura secundaria endurecida de una fibra óptica estándar de 245 µm de diámetro, que equivale a 25 µm,

$E_{mod_{1\_norm}}$  es el módulo de elasticidad *in-situ* de la envoltura primaria endurecida de una fibra óptica estándar de 245 µm de diámetro, que equivale a 0,4 MPa, y

$E_{mod_{2\_norm}}$  es el módulo de elasticidad *in-situ* de la envoltura secundaria endurecida de una fibra óptica estándar de 245 µm de diámetro, que equivale a 800 MPa.

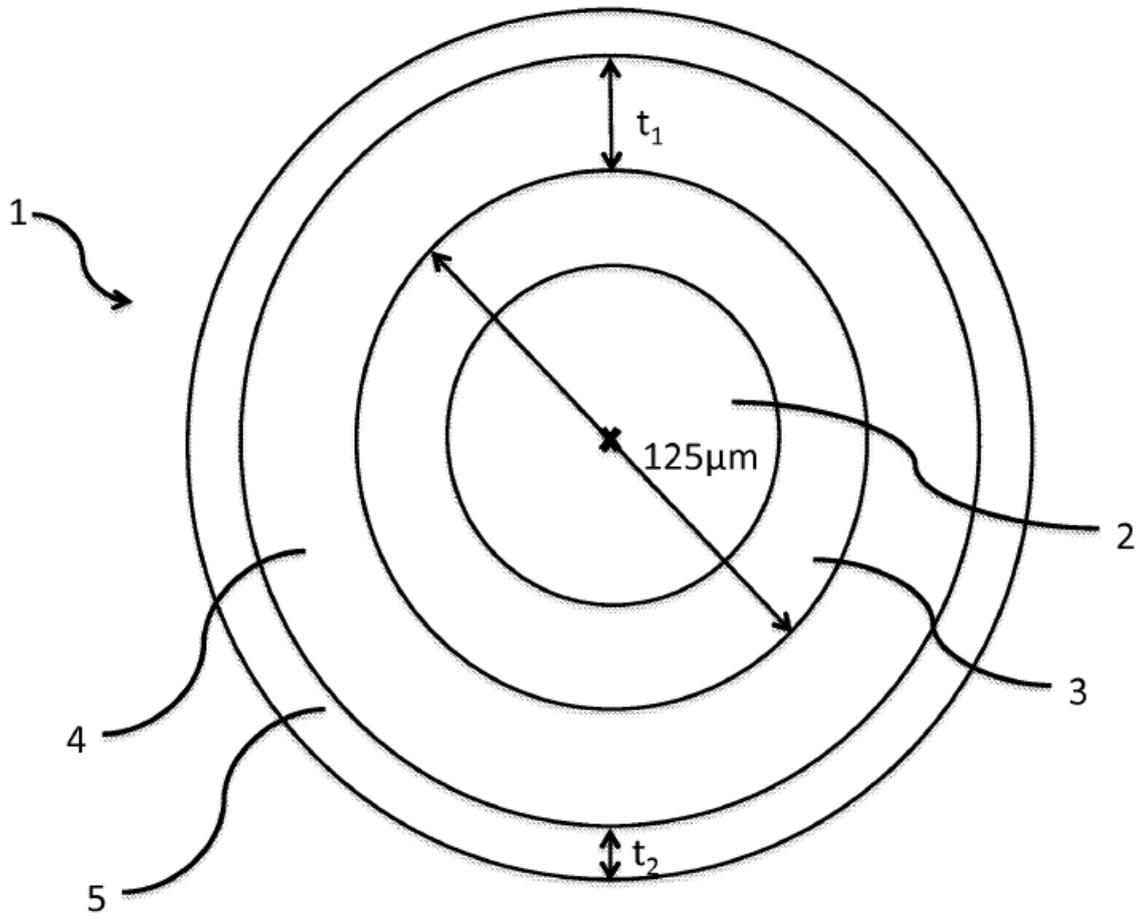


Figura 1

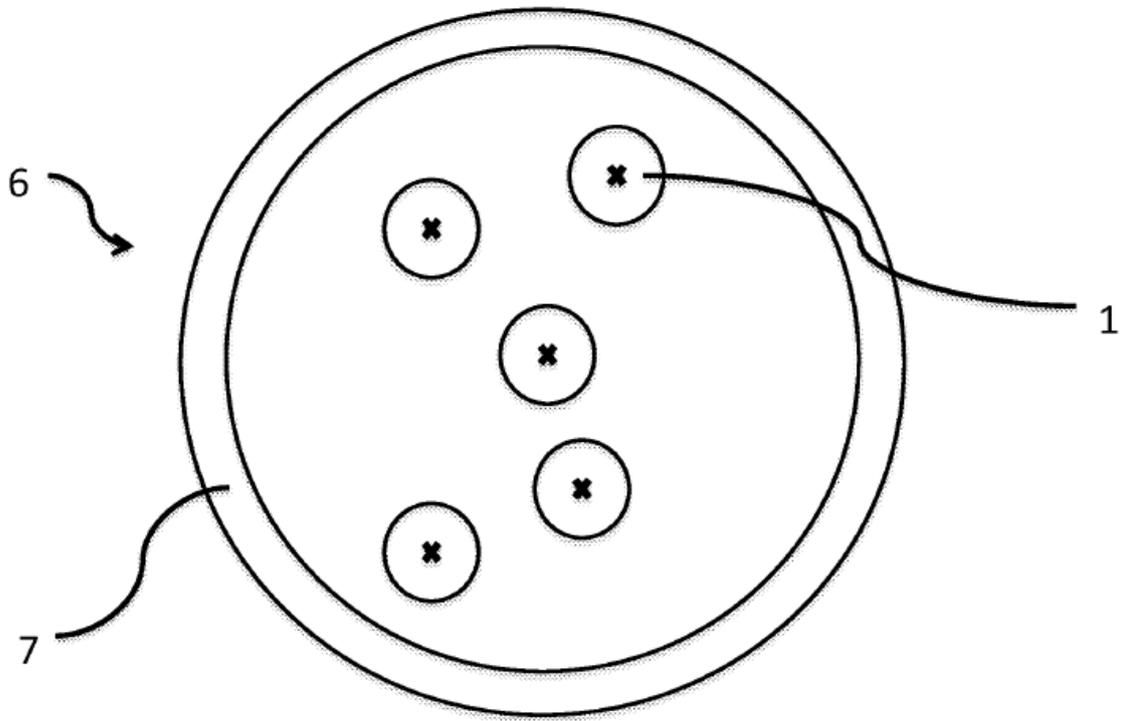


Figura 2

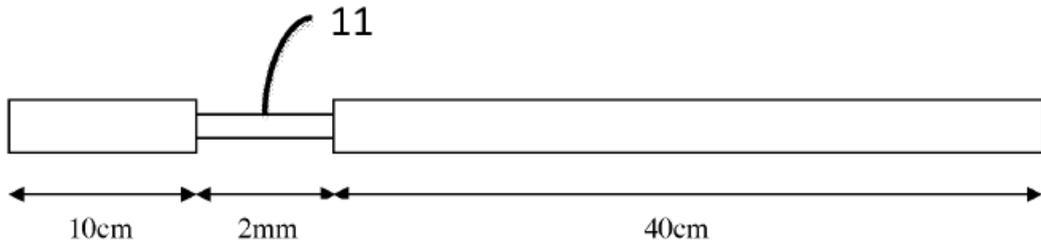


Figura 3a

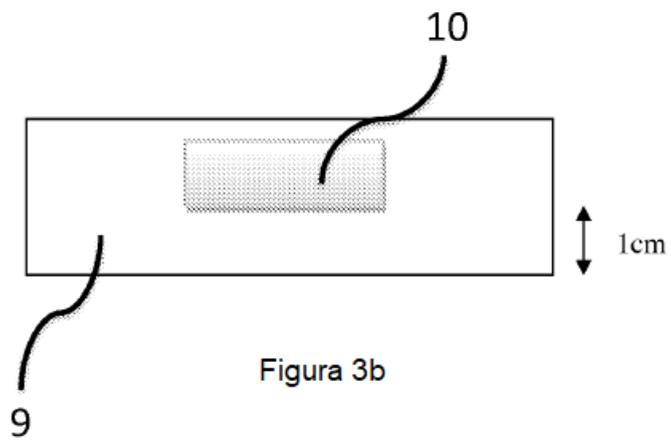


Figura 3b

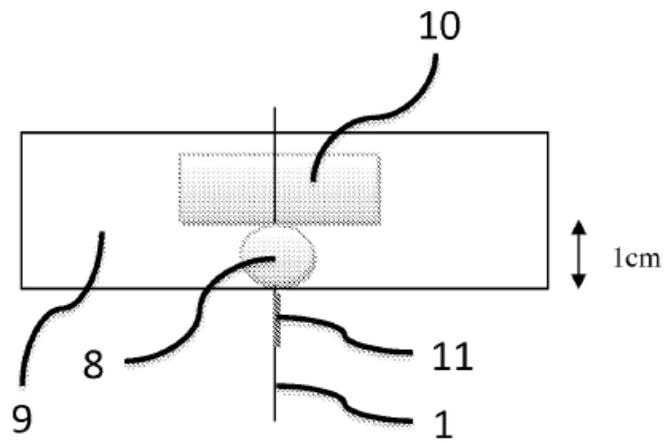


Figura 3c

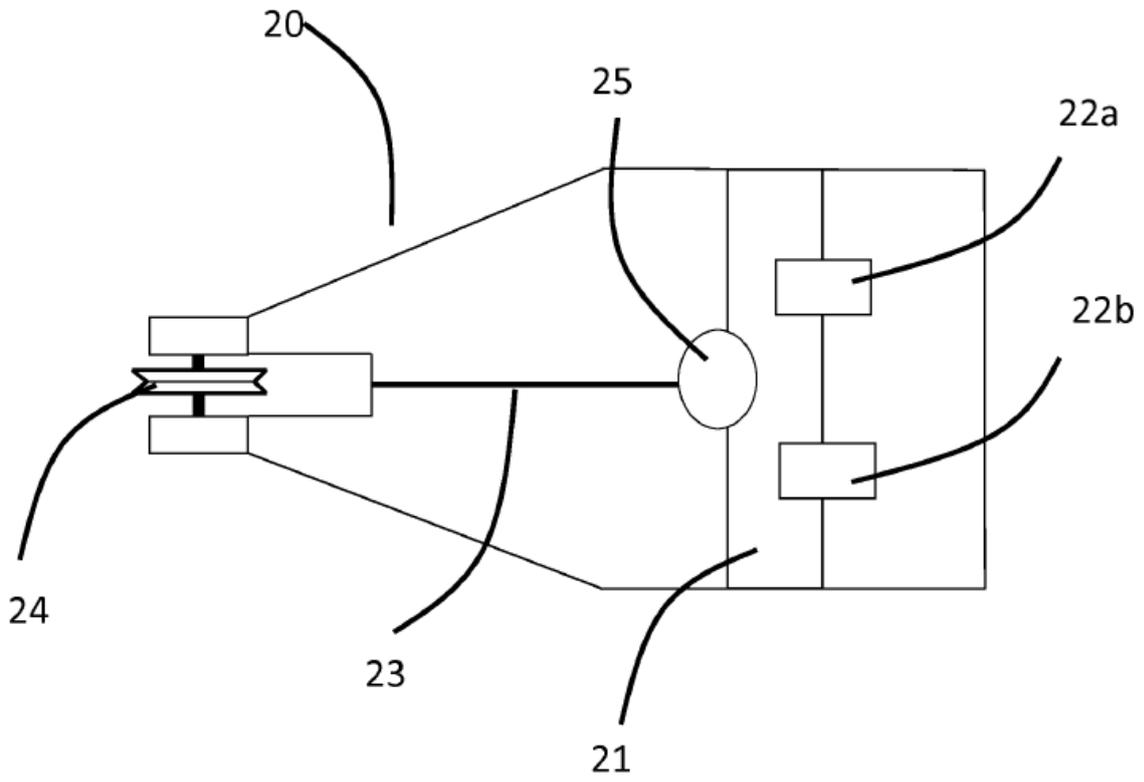


Figura 3d

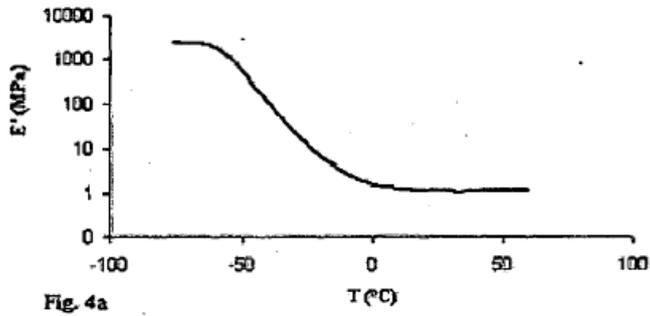


Figura 4a

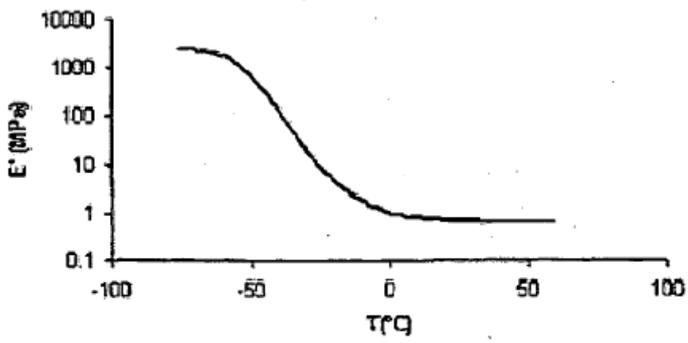


Figura 4b

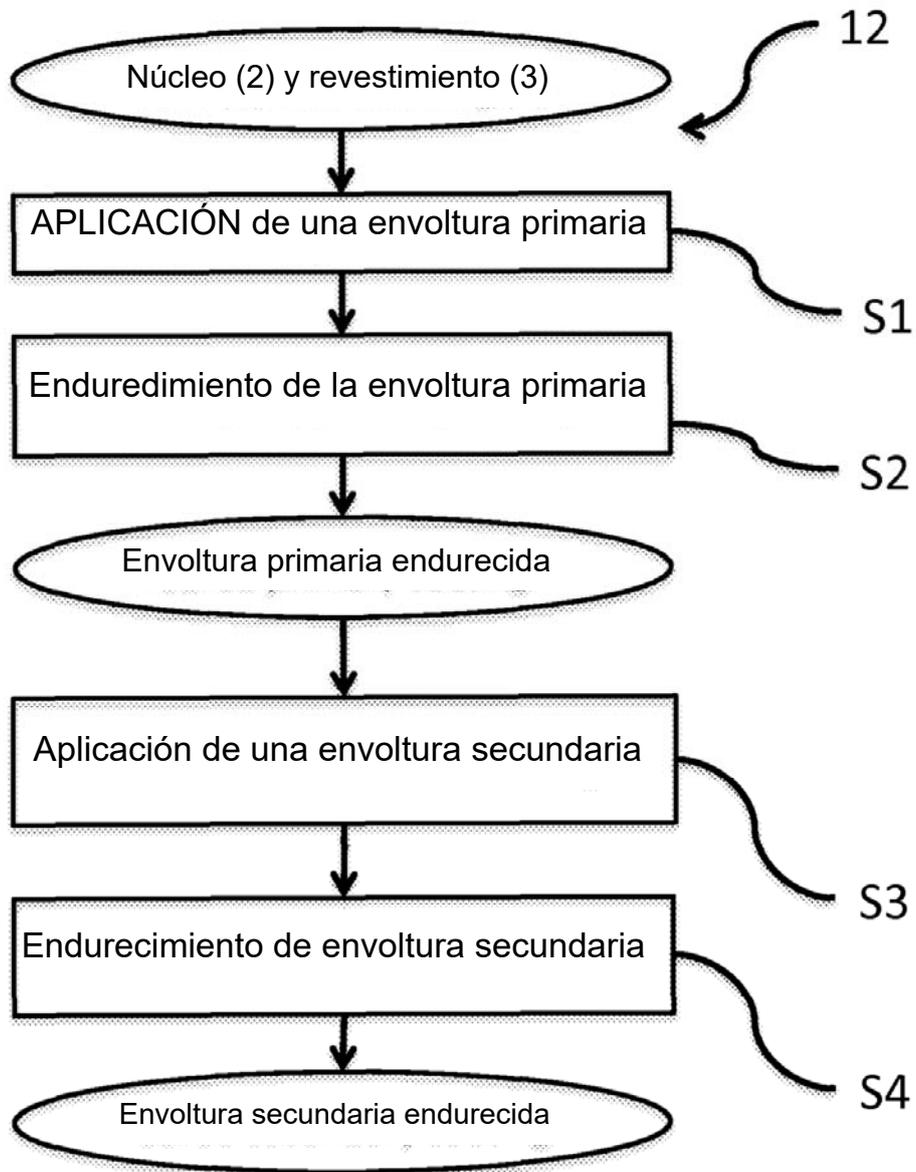


Figura 5

**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**

10

• US 8600206 B [0003]

• WO 2014172143 A1 [0004] [0005]