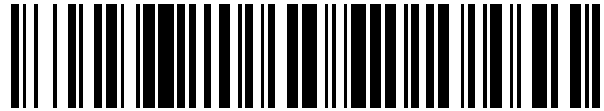


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 879**

51 Int. Cl.:

G02B 1/04 (2006.01)

G02B 6/02 (2006.01)

C03C 25/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2009 E 09748856 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2015 EP 2344911**

54 Título: **Fibra óptica de diámetro reducido**

30 Prioridad:

07.11.2008 US 112595 P

13.05.2009 US 177996 P

02.10.2009 US 248319 P

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

25.08.2015

73 Titular/es:

DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)

De Boelelaan 7

1083 HJ Amsterdam, NL

72 Inventor/es:

OVERTON, BOB J.

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 543 879 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

5 Campo de la invención

[0001]La presente invención abarca fibras ópticas que poseen un sistema de revestimiento mejorado que reduce microcurvaturas inducidas por tensión. La presente invención abarca además el despliegue de tales fibras ópticas en diferentes estructuras, tales como cables y tubos de protección.

Antecedentes de la invención

10 **[0002]**La fibra hasta el local/negocio/ hogar (es decir, FTTx) proporcionan tecnología de transferencia de datos de banda ancha para el usuario final. Las Instalaciones FTTx, que están siendo desplegadas cada vez más en todo el mundo, están haciendo usos innovadores, diseños de sistema de costo reducido para promover la expansión de la tecnología. Por ejemplo, la fibra puede ser entregada en el último enlace por medio de un micro-cable. Las fibras sopladas por aire proporcionan otro modelo eficiente para entregar enlace para uso final terminal. Sigue siendo el
15 foco de toda la industria medios de despliegue que superen los obstáculos económicos que impiden soluciones de banda ancha basados en fibra para la transmisión de datos a empresas y residencias.

[0003] La rentabilidad es importante, por supuesto, para lograr sistemas FTTx exitosos. El tamaño reducido para cables, acometidas, y estructuras para soplado son a menudo, también críticos. La instalación de conductos adecuados para diseños de cable tradicionales es a menudo prohibitiva en la infraestructura existente. Así, tienen que ser utilizados pequeños conductos o pasos estrechos para instalaciones de fibra nueva. Los requisitos de bajo
20 coste y de tamaño reducido están conduciendo en una dirección de reducción de protección de las fibras ópticas (es decir, alejados de diseños de cable convencionalmente robustos más voluminosos).

[0004] Actualmente se encuentran disponibles diseños en vidrio que ofrecen sensibilidad reducida a radios de curvatura pequeños (es decir, atenuación añadida disminuida debida al fenómeno conocido como macro-curvatura).
25 Estos incluyen diseños de núcleo asistidos por zanja o fibras sin asistir. Diseños en vidrio con diámetro de campo modal inferiores son menos sensibles a efectos de macro-curvatura, pero no son compatibles con la norma G.652 SMF. Las fibras ópticas de mono único que cumplen con los requisitos de la UIT-T G.652.D están disponibles comercialmente, por ejemplo, en Draka Comteq (Claremont, Carolina del Norte).

[0005] La microcurvatura es otro fenómeno que induce pérdidas de intensidad de señal de fibra añadidas. Se inducen microcurvaturas cuando se aplican pequeñas tensiones a lo largo de la longitud de una fibra óptica,
30 perturbando la trayectoria óptica a través de microscópicamente pequeñas desviaciones en el núcleo.

[0006] En este sentido, la patente de EE.UU nº 7.272.289 (Bickham et al.) propone una fibra óptica que tiene bajas pérdidas por macro-curvatura y micro-curvatura. La patente de EE.UU número 7.272.289, describe ampliamente una fibra óptica que posee (i) un revestimiento primario que tiene un módulo de Young menor de 1,0 MPa y una
35 temperatura de transición vítrea menor de -25° C y (ii) un revestimiento secundario que tiene un módulo de Young mayor de 1.200 MPa. El documento de EE.UU 2004/013382 (Van Eekelen et al) se refiere a una óptica fibra que tiene un recubrimiento con buenas pérdidas por microcurvatura.

[0007] Sin embargo, sigue siendo necesaria una mejor protección contra microcurvatura para ayudar a asegurar la implementación exitosa en más aplicaciones FTTx. Con este fin, es necesario descubrir y poner en práctica nuevos
40 sistemas de revestimiento que encaren mejor las demandas de instalaciones FTTx dispuestas sobre estructuras de cable y fibra de manera que sea comercialmente práctica (es decir, rentable).

Sumario de la invención

[0008] De acuerdo con ello, es un objeto de la presente invención proporcionar una fibra óptica con un sistema de revestimiento mejorado que proporciona protección mejorada contra microcurvatura inducida por tensión.

[0009] Otro objeto es proporcionar un sistema de revestimiento mejorado que pueda ser acoplado fácilmente, ya sea a una fibra óptica de modo único o a una fibra óptica de modo múltiple.

[0010] Es aún otro objeto proporcionar un sistema de revestimiento mejorado que puede ser acoplado fácilmente a fibras ópticas insensibles a curvatura.

[0011] Aun constituye otro objeto proporcionar un sistema de revestimiento de fibra óptica mejorado que incluye un revestimiento primario que posee un módulo bajo para proporcionar una mejor amortiguación contra tensiones laterales y axiales inducidas por fuerzas externas.

[0012] Aún es otro objeto proporcionar un sistema de revestimiento de fibra óptica mejorado que incluye un revestimiento primario que posee una temperatura de transición vítrea excepcionalmente baja (Tg) que reduce las tensiones inducidas por temperatura en entornos inusualmente fríos.

[0013] Todavía constituye otro objeto proporcionar un sistema de revestimiento de fibra óptica mejorado que incluye un revestimiento primario que posee una tasa de endurecimiento mejorada.

[0014] Aún es otro objeto proporcionar un sistema de revestimiento de fibra óptica mejorado que incluye un revestimiento secundario sin tinta que mejora el brillo y la visibilidad.

[0015] Es todavía otro objeto proporcionar un sistema de revestimiento de fibra óptica mejorado que se puede aplicar a velocidades de procesamiento comercialmente aceptables (por ejemplo, formando el revestimiento primario a velocidades de, al menos, aproximadamente 20 metros por segundo)

[0016]Es aún otro objeto proporcionar una fibra óptica que posee revestimientos que son fáciles de arrancar.

[0017] Aún es otro objeto proporcionar una fibra óptica que tiene características de rendimiento mejoradas para su uso en instalaciones FTTx en las que los diseños de cable robustos convencionales, son impracticables.

[0018] Aún constituye otro objeto proporcionar una fibra óptica que combina sinérgicamente una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca

BendBrightXS®) con el revestimiento según con la presente invención (por ejemplo, el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq).

[0019] Todavía es otro objeto proporcionar una fibra óptica que se pueda desplegar ventajosamente en tubos de protección y/o cables de fibra óptica.

5 [0020] Aún es otro objeto proporcionar una fibra óptica que requiera menos protección externa (por ejemplo, encerrada dentro de tubos de protección y/o camisas de cable más delgadas).

[0021] Es todavía otro objeto proporcionar una fibra óptica insensible a curvatura que posee un diámetro reducido (por ejemplo, que tiene capas de revestimiento más delgadas y/o componentes de fibra de vidrio más delgadas).

10 [0022] Aún es otro objeto proporcionar una fibra óptica de diámetro reducido que requiere menos espacio de despliegue (por ejemplo, dentro de un tubo de protección y/o cable de fibra óptica), facilitando con ello aumento de la cantidad de fibra y/o reducción del tamaño de cable.

[0023] Aún constituye otro objeto proporcionar una fibra óptica que se pueda instalar de una manera que emplea curvas de radio pequeño.

15 [0024] Es aún otro objeto proporcionar una fibra óptica que facilita la instalación directa sobre edificios u otras estructuras (por ejemplo, engrapada o asegurada de cualquier otra forma a superficies estructurales).

[0025] Aún es otro objeto proporcionar una fibra óptica de modo único de 200 micrómetros que proporciona un significativamente mejor comportamiento de microcurvatura que el de una fibra óptica de modo único estándar (SSMF) que emplea revestimientos primario y secundario convencionales (es decir, en un diámetro exterior de aproximadamente 235 a 265 micrómetros).

20 [0026] Los anteriores, así como otros objetivos y ventajas de la invención, y la manera en que la misma se lleva a cabo, se especifican adicionalmente en la siguiente descripción detallada, reivindicaciones adjuntas y sus dibujos anexos.

Breve descripción de los dibujos

25 [0027] La figura 1 representa resultados de pruebas que demuestran que se consiguen pérdidas por micro-curvatura excepcionalmente bajas, de acuerdo con la presente invención, emparejando una fibra de vidrio insensible a curvatura con un revestimiento primario de bajo módulo.

La figura 2 representa esquemáticamente la relación entre el módulo *in situ* de un revestimiento primario y pérdidas añadidas para una fibra óptica de modo múltiple.

30 La figura 3 representa las propiedades mecánicas dinámicas de un revestimiento primario comercial típico (es decir, un revestimiento primario convencional).

La figura 4 representa las propiedades mecánicas dinámicas de un revestimiento primario ejemplar utilizado en la producción de fibras ópticas de acuerdo con la presente invención.

35 La figura 5 muestra los resultados de pruebas de microcurvatura de fibras ópticas que incluyen un revestimiento primario convencional y de fibras ópticas que incluyen un revestimiento primario de ejemplo según la presente invención.

La figura 6 muestra los resultados de pruebas de microcurvatura (bajo condiciones de prueba de ciclo de temperatura rigurosas) de fibras ópticas que incluyen un revestimiento primario convencional y de las fibras ópticas que incluyen un revestimiento primario de ejemplo de acuerdo con la presente invención.

40 La figura 7 muestra los resultados de pruebas de microcurvatura (bajo condiciones de prueba de ciclos de temperatura modificados) de fibras ópticas que incluyen un revestimiento primario convencional y de las fibras ópticas que incluyen un revestimiento primario de ejemplo de acuerdo con la presente invención.

La figura 8 representa los resultados de pruebas que demuestran que consiguen pérdidas por microcurvatura excepcionalmente bajas de acuerdo con la presente invención, emparejando una fibra de vidrio insensible a curvatura con un revestimiento primario de módulo bajo.

45 La figura 9 representa los resultados de pruebas de microcurvatura (bajo rigurosas condiciones de prueba de ciclos de temperatura) para fibras ópticas convencionales y para fibras ópticas que, de conformidad con la presente invención, combinan una fibra de vidrio insensible a curvaturas con un revestimiento primario de bajo módulo.

La figura 10 muestra los resultados de pruebas de microcurvatura (bajo condiciones de prueba de ciclos de temperatura modificados) para fibras ópticas convencionales y de fibras ópticas que, de conformidad con la presente invención, combinan una fibra de vidrio insensible a curvatura con un revestimiento primario de módulo bajo.

50 La figura 11 representa la atenuación (pérdidas añadidas) como una función del número MAC (es decir, el diámetro de campo modal dividido por la longitud de onda de corte) para varias fibras ópticas de ejemplo.

La figura 12 representa, a escala logarítmica, la sensibilidad a microcurvatura como una función del número MAC (es decir, diámetro de campo modal dividido por longitud de onda de corte) para diversas fibras ópticas ejemplares.

55 Descripción detallada

[0028] En la presente descripción la unidad micra se utiliza por micrómetro, y el símbolo μ por μm . La presente invención se refiere a una fibra óptica según la reivindicación 1, que tiene un sistema de revestimiento que reduce micro-curvaturas inducidas por tensión.

60 [0029] En una forma de realización de la fibra óptica de acuerdo con la presente invención, dicho revestimiento primario endurecido tiene sustancialmente un módulo *in situ* inferior a 0,5 MPa, preferiblemente inferior a menos de 0,4 MPa.

[0030] En una forma de realización de la fibra óptica de acuerdo con la presente invención, dicho revestimiento primario endurecido tiene sustancialmente un módulo *in situ* superior a 0,2 MPa, preferiblemente superior a 0,3 MPa.

65 [0031] En una forma de realización de la fibra óptica según la presente invención dicha capa de revestimiento primario tiene un diámetro exterior menor de 165 micras, preferiblemente menor de 160 micras, más preferiblemente menor de 157,5 micras, aún más preferiblemente inferior a 155 micras.

- [0032] En una forma de realización de la fibra óptica según la presente invención dicha capa de revestimiento primario tiene un diámetro exterior mayor de 140 micrómetros, preferiblemente mayor de 145 micras, más preferiblemente de mayor de 150 micras, aún más preferiblemente mayor de 152,5 micras.
- 5 [0033] En una forma de realización de la fibra óptica según la presente invención dicha capa de revestimiento primario tiene un diámetro exterior de 160 micras o menor, preferiblemente comprendido entre 152,5 y 157,5 micras; y en donde dicha capa de revestimiento secundario tiene un diámetro exterior menor de 230 micrómetros, preferiblemente menor de 210 micrómetros, más preferiblemente comprendido entre 192 y 202 micras.
- [0034] En una realización de la presente invención, la fibra óptica comprende una capa de tinta, en la que la fibra óptica tiene un diámetro exterior de 210 micras o menor, preferiblemente de 205 micras o menor.
- 10 [0035] En una forma de realización de la fibra óptica según la presente invención, el revestimiento secundario está pigmentado para codificación de color de la fibra óptica.
- [0036] En una realización ejemplar de la fibra óptica según la presente invención en el percentil 50º de la distribución de la resistencia a tracción de fibra óptica, la resistencia a tracción de rotura de fibra es al menos 500 kpsi (3447 MPa), preferiblemente al menos 600 kpsi (4.137 MPa), y más preferiblemente al menos 700 kpsi (4.826 MPa).
- 15 [0037] En una realización ejemplar de la fibra óptica según la presente invención, la fibra óptica tiene un factor de corrosión-fatiga dinámica por tensión (valor n) de al menos 20.
- [0038] En una realización ejemplar de la fibra óptica según la presente invención a una longitud de onda de 1.550 nanómetros, la fibra óptica posee atenuación de fibra menor de 1,5 dB/km, preferiblemente menor que 1,25 dB/km, y más preferiblemente menor de 1,0 dB/km, medida a 23° C de acuerdo con una prueba modificada IEC TR62221 de tambor de papel de lija de diámetro fijo ("Prueba de sensibilidad a micro-curvatura de fibra óptica de diámetro reducido") en la que una muestra de fibra de 440 metros se enrolla en una sola capa a 1.470 mN sobre un tambor de cuarzo de 300 mm de diámetro envuelto en papel de lija de grano 320 para crear una superficie rugosa.
- 20 [0039] En una realización ejemplar de la presente invención la fibra óptica es una fibra de modo único.
- [0040] En una realización ejemplar de la presente invención la fibra óptica es una fibra de modo múltiple.
- 25 [0041] La presente invención se refiere además a un tubo de protección o cable que contiene una o más fibras ópticas de acuerdo con la presente invención.
- [0042] La presente invención se refiere además a un módulo o recinto óptico que recibe, al menos, una porción de una o más fibras ópticas de acuerdo con la presente invención.
- 30 [0043] La presente invención se refiere además a una instalación FTTx que comprende una o más fibras ópticas de acuerdo con la presente invención.
- [0044] En un aspecto, la presente invención abarca fibras ópticas que tienen un sistema de revestimiento mejorado que reduce las microcurvaturas inducidas por tensión, incluso en entornos excepcionalmente fríos que se requieren para despliegues de FTTx. El sistema de revestimiento de acuerdo con la presente invención incluye un revestimiento primario que combina un bajo módulo *in situ* (por ejemplo, menor de aproximadamente 0,5 MPa, medido sobre la fibra) y una baja temperatura de transición vítrea (Tg) (por ejemplo, menor de aproximadamente -50° C) para reducir tensiones causadas por fuerza y temperatura externas. Además, el sistema de revestimiento se puede procesar a alta velocidades de producción (por ejemplo, 15 a 20 m/seg o más).
- 35 [0045] La presente invención consigue una fibra óptica resistente a microcurvatura, particularmente una fibra óptica de modo único, empleando como su revestimiento primario una composición de acrilato de uretano endurecible por radiación UV. En este sentido, el revestimiento primario incluye entre aproximadamente el 40 y el 80 por ciento en peso de oligómero de poliéter-uretano acrilato, así como fotoiniciador, tal como LUCERIN TPO, que está disponible comercialmente en BASF. Además, el revestimiento primario incluye uno o más oligómeros y uno o más diluyentes de monómero (por ejemplo, acrilato de isobornilo), que se pueden incluir, por ejemplo, para reducir la viscosidad y de ese modo promover el procesamiento. Una composición adecuada para el revestimiento primario de acuerdo con la presente invención es un producto de acrilato de uretano endurecible por radiación UV proporcionado por DSM Desotech (Elgin, Illinois) bajo la marca DeSolite® DP 1011.
- 40 [0046] Una fibra de vidrio ejemplar, posee, por ejemplo, un núcleo de índice en escalón que tiene un índice de refracción comprendido entre aproximadamente 0,003 y 0,006 mayor que el índice de refracción de su revestimiento de sílice adyacente.
- 50 [0047] Fibras de vidrio de modo único de ejemplo para uso en la presente invención están disponibles comercialmente de Draka Comteq (Claremont, Carolina del Norte) con la marca BendBright®, que es compatible con los requisitos de UIT-T G.652.D, y con la marca BendBrightXS®, que es compatible con la ITU-T G.657.A/B y los requisitos de la ITU-T G.652.D.
- [0048] En particular, y como se establece en el presente documento, de manera inesperada se ha descubierto que el emparejamiento de una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS®) y un revestimiento primario que tiene muy bajo módulo (por ejemplo, producto de acrilato de uretano de endurecido por radiación UV de DSM Desotech, proporcionado bajo la marca DeSolite® DP 1011), logra fibras ópticas que tienen pérdidas excepcionalmente bajas (por ejemplo, reducciones en la sensibilidad a microcurvatura de, al menos, 10 veces (por ejemplo, de 40 a 100 veces o más) en comparación con una fibra de modo único que emplea un sistema de revestimiento convencional). Fibras de vidrio de modo único resistente a curvatura de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS® emplean un diseño de zanja asistida que reduce las pérdidas por microcurvatura.
- 60 [0049] La figura 1 representa este resultado excepcional mediante la comparación de la mencionada fibra de modo único ejemplar de acuerdo con la presente invención con diversas fibras de modo único que emplean sistemas de revestimiento convencionales. En este sentido, la figura 1 presenta datos de atenuación espectral mediante la medición de la atenuación espectral inicial en la fibra óptica sobre una bobina de envío, obteniendo de esta manera
- 65

los picos y valles típicos de la atenuación a través de todo el espectro de longitudes de onda entre los límites mostrados. La fibra óptica se enrolla entonces sobre un tambor de diámetro fijo cubierto de papel de lija (es decir, la bobina de medición) como se describe por la prueba IEC de tambor de papel de lija de diámetro fijo (es decir, IEC TR62221, Método B), obteniéndose otra curva de atenuación espectral.

5 [0050] La prueba IEC de tambor de papel de lija de diámetro fijo (es decir, IEC TR62221, Método B) proporciona una situación de tensión de microcurvatura que afecta a fibras de modo único incluso a temperatura ambiente. El papel de lija, por supuesto, proporciona una superficie rugosa que somete la fibra óptica a miles, si no millones, de puntos de tensión. Con respecto a los datos de prueba presentados en la figura 1, un carrete de fibra de diámetro 300 mm se envolvió con, papel de lija, con reverso adhesivo, papel de lija de grado de 40 micras (es decir, aproximadamente el equivalente a papel de lija de grano 300) para crear una superficie rugosa. Entonces, muestras de fibra de 400 metros se enrollaron bajo aproximadamente 2.940 mN (es decir, una tensión de 300 gf sobre un cilindro de 300 mm de diámetro) y se midió la atenuación espectral a 23 ° C.

10 [0051] Las curvas presentadas en la figura 1 representan la diferencia entre la curva espectral inicial y la curva cuando la fibra está sobre el tambor de papel de lija, dando de este modo la pérdidas adicionales debidas a microcurvatura por tensión.

15 [0052] Los expertos en la técnica reconocerán diseños de cable que ahora están empleando tubos de protección de diámetro menor y materiales menos costosos en un esfuerzo para reducir los costos. En consecuencia, cuando se despliegan en tales diseños de cable, las fibras ópticas de modo único están menos protegidas y por lo tanto son más susceptibles a microcurvatura inducida por tensión. Como se ha señalado, la presente invención proporciona un sistema de revestimiento mejorado que protege mejor las fibras ópticas contra tensiones causadas por deformaciones mecánicas externas e inducidas por temperatura, cambiando las propiedades mecánicas de los revestimientos.

20 [0053] Como se ha indicado, las soluciones convencionales para protección de fibras ópticas implican el uso de tubos de protección de gran diámetro, tubos de protección fabricados con materiales de alto módulo, resistentes a deformación y tensiones sobre la fibra, y aún más, camisas de cable más gruesas para resistir deformaciones que puedan pinzar o apretar de otro modo las fibras ópticas. Estas soluciones, sin embargo, son no sólo costosas, sino también dejan de dirigir las tensiones inducidas por temperatura causadas por cambios a los revestimientos de protección. En otras palabras, los revestimientos primarios convencionales poseen alto módulo a temperaturas por debajo de su respectiva temperatura de transición vítrea.

25 [0054] Como se describe en el presente documento, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención incluye un revestimiento primario que posee menor módulo y menor temperatura de transición vítrea que los poseídos por revestimientos primarios de fibra de modo único convencionales. Aun así, la formulación de revestimiento primario mejorado facilita, no obstante, la producción comercial de la presente fibra óptica a velocidades de procesamiento excelentes (por ejemplo, 1.000 m/min o más). En este sentido, el revestimiento primario empleado en las fibras ópticas de la presente invención presenta tasas de endurecido elevadas - llegar al 50 por ciento de endurecido completo con una dosis de radiación UV de aproximadamente 0,3 J/cm², al 80 por ciento de endurecido completo con una dosis de radiación UV de aproximadamente 0,5 J/cm², y al 90 por ciento de endurecido completo a una dosis de radiación UV de aproximadamente 1,0 J/cm², medida sobre una película de 75 micras estándar a 20 ° C y presión atmosférica (es decir, 760 torr) (es decir, temperatura y presión estándar - STP).

30 [0055] La figura 2 representa esquemáticamente la relación observada entre el módulo *in situ* de un revestimiento primario y la atenuación (pérdidas adicionales) de la fibra óptica, aquí una fibra de modo múltiple de índice gradual de 50 micras. El módulo del revestimiento primario se mide endurecido sobre la fibra de vidrio y las pérdidas adicionales se miden usando un procedimiento de tambor de papel de lija de diámetro fijo de acuerdo con el informe técnico de sensibilidad a microcurvatura y procedimientos de prueba norma IEC TR62221 (por ejemplo, IEC TR62221, Método B, Ed. 1).

35 [0056] Como será apreciado por aquellos con experiencia ordinaria en el arte, fibras de modo único comercialmente disponibles presentan, típicamente, un módulo de Young de 0,69 a 1,03 MPa (100-150 psi) medido *in situ* (es decir, sobre la fibra). La fibra óptica de acuerdo con la presente invención posee un revestimiento primario que tiene un módulo reducido en comparación con tales revestimientos primarios disponibles comercialmente. El empleo de un revestimiento primario con menor módulo proporciona una mejor amortiguación alrededor de la fibra de vidrio.

40 [0057] Aunque se puede lograr menor módulo *in situ* del revestimiento primario mediante infra endurecido selectivo, la presente invención consigue revestimiento primario con un módulo *in situ* más bajos, incluso si se aproximan al endurecido completo (es decir, cerca de un endurecido completo). A este respecto, el módulo *in situ* del revestimiento primario de acuerdo con la presente invención es menor de, aproximadamente, 0,65 MPa (por ejemplo, menor de aproximadamente 95 psi), típicamente menor de, aproximadamente 0,5 MPa, y más típicamente menor de 0,4 MPa (por ejemplo, comprendido entre aproximadamente 0,3 MPa y 0,4 MPa o entre aproximadamente 40 psi y 60 psi). Se ha determinado que un revestimiento primario que tiene *in situ* un módulo menor de aproximadamente 0,5 MPa, reduce significativamente la sensibilidad a curvatura de la fibra de vidrio. Por otro lado, el módulo del revestimiento primario *in situ* de acuerdo con la presente invención es típicamente mayor de aproximadamente 0,2 MPa (por ejemplo, 0,25 MPa o más).

45 [0058] Para lograr su módulo reducido en comparación con los revestimientos de fibra óptica convencionales, el revestimiento primario presente posee una densidad de reticulación inferior, específicamente una concentración reducida de los grupos de acrilato reactivos. Aquellos con experiencia ordinaria en la técnica, apreciarán que los grupos acrilato reticulan a través de polimerización por radicales libres durante la foto-iniciación (por ejemplo, el endurecido inducido por radiación UV durante operaciones de estirado). La cinética de reacción impone tasas de endurecido reducidas durante el procesamiento. Esto es comercialmente indeseable, por supuesto, y así la presente

invención implementa modificaciones de procesamiento para proporcionar la tasa de endurecimiento satisfactoria para el revestimiento primario de bajo módulo.

[0059] Hay por lo menos dos componentes del proceso de endurecido que retardan la tasa de polimerización del revestimiento primario. En primer lugar, la combinación de (i) temperaturas de endurecido altas inducidas por exposición a una alta intensidad de entorno UV y (ii) la reacción de polimerización exotérmica ralentiza la tasa de endurecido del revestimiento primario observada. En segundo lugar, una gran cercanía de lámparas UV apiladas, en efecto, crean rápidamente períodos de foto-iniciación superpuestos, repetidos. La tasa de reacción de grupos acrilato bajo esta configuración es igualmente retardada - un resultado un tanto contradictorio. Con respecto a esto último la disposición (es decir, posicionamiento) de lámparas UV para aumentar el período entre exposiciones a UV consecutivas, aumenta de manera significativa el grado de endurecido del revestimiento en comparación con otros procesos convencionales que emplean la misma velocidad de estirado y dosis de radiación UV. De esta manera, es posible procesar el revestimiento primario de módulo reducido según la presente invención de una manera que alcanza el casi-completo endurecido a velocidades de estiramiento de fibra altas, que son necesarias para un proceso viable comercialmente. Un ejemplo de procedimiento y aparato para endurecido de una fibra revestida se describen en la patente EE. UU. número 7.322.122 de mismo titular.

[0060] La dependencia de la temperatura del módulo es una consideración importante para asegurar que el revestimiento primario proporciona protección contra microcurvatura mejorada en aplicaciones FTTx. Un revestimiento primario que tiene bajo módulo sólo a temperatura ambiente sería inadecuado porque despliegue a intemperie expondrá a la fibra óptica a tensiones inductoras de microcurvatura a temperaturas ambientales extremas (por ejemplo, -40°C e inferiores). Por lo tanto, un revestimiento primario adecuado de acuerdo con la presente invención posee una temperatura de transición vítrea excepcionalmente baja de modo que el revestimiento primario permanece blando y protector en condiciones ambientales extremadamente frías.

Ejemplos

Ejemplo 1 (Comparación de propiedades mecánicas)

[0061] Las figuras 3 y 4, respectivamente, representan las propiedades mecánicas dinámicas de un revestimiento primario comercial típico (es decir, el revestimiento primario convencional) y un revestimiento primario ejemplar utilizado en la fabricación de las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención. El revestimiento primario convencional era un acrilato de uretano endurecible por radiación UV proporcionado por DSM Desotech (Elgin, Illinois) bajo la marca DeSolite® DP 1007. El revestimiento primario ejemplar de acuerdo con la presente invención (es decir, empleado para formar fibras ópticas de la presente invención) fue un acrilato de uretano endurecible por radiación UV proporcionado por DSM Desotech (Elgin, Illinois) bajo la marca DeSolite® 1011 DP.

[0062] Los datos para el revestimiento primario convencional se obtuvieron en un Analizador Mecánico Dinámico (DMA) para una tasa de tensión oscilante de 1 Hz. Al hacer esto, la resistencia se mantuvo dentro de la región lineal de comportamiento de tensión-resistencia. La muestra de revestimiento primario convencional se endureció sobre poliéster para formar una película de 75 micras estándar. Se aplicó una dosis de radiación UV de 1 J/cm^2 , usando una bombilla de mercurio-halógena operando a 300 W de salida. Esta exposición UV era suficiente para asegurar que el revestimiento se encontraba en la meseta de la curva dosis-módulo.

[0063] Haciendo referencia a la figura 3, los datos muestran el módulo de equilibrio a aproximadamente 1,5 MPa, medido en una película de 75 micras. En una fibra de vidrio (es decir, *in situ*), este revestimiento primario convencional endurece bien para un módulo de alrededor de 0.8 MPa, un nivel indicativo de muchos revestimientos primarios de fibra de modo único de la industria. Los que tienen experiencia ordinaria en la técnica, apreciarán que las mediciones de módulo de revestimientos primarios más blandos tienden a ser menores en una fibra de vidrio (es decir, *in situ*) en comparación con los de en una película de 75 micras.

[0064] La temperatura de transición vítrea del revestimiento primario convencional se estima por el pico en $\tan\delta$ a aproximadamente -30°C . Por lo tanto, el revestimiento primario convencional (y formulaciones similares) se comportarán como un polímero vítreo a temperaturas extremadamente bajas (por ejemplo, - menos de -40°C , en particular menores de -50°C). (Aunque la tensión inducida por resistencia es dependiente del tiempo a bajas temperaturas, la temperatura de transición vítrea estimada es una propiedad comparativa útil.)

[0065] Una muestra del revestimiento primario de ejemplo de acuerdo con la presente invención se endureció igualmente sobre poliéster para formar una película de 75 micras comparable. Como anteriormente, se aplicó una dosis de radiación UV de 1 J/cm^2 al revestimiento primario, utilizando una bombilla de mercurio-halógeno que funciona con 300 W de salida. Como se ha indicado, la figura 4 representa las propiedades mecánicas dinámicas del revestimiento primario ejemplar de acuerdo con la presente invención.

[0066] El revestimiento primario ejemplar de acuerdo con la presente invención exhibió un módulo de equilibrio en apenas por debajo 1 MPa en la película endurecida. El módulo *in situ* (es decir, medido en la fibra de vidrio), estaba entre aproximadamente 0,3 MPa y 0,4 MPa. Esto es significativamente menor que las respectivas mediciones de módulo para el revestimiento primario convencional.

[0067] La temperatura de transición vítrea del revestimiento primario ejemplar de acuerdo con la presente invención se estima por el pico en $\tan\delta$ en menos de aproximadamente -50°C (por ejemplo, aproximadamente -60°C). Esto es, al menos aproximadamente 20°C por debajo de la temperatura de transición vítrea del revestimiento primario convencional comparativo. En consecuencia, los revestimientos primarios según la presente invención proporcionan una mucho más rápida relajación de tensión durante las variaciones de temperatura.

[0068] Como se expone en los ejemplos 2 y 3 (a continuación), se utilizaron dos métodos diferentes para evaluar la respectiva sensibilidad a microcurvatura de fibras de vidrio revestidas con (i) un revestimiento primario comercial típico (es decir, el revestimiento primario convencional) y (ii) un revestimiento primario ejemplar de acuerdo con la presente invención. Como en el ejemplo 1 (anterior), el revestimiento primario convencional era un acrilato de

uretano endurecible por radiación UV, proporcionado por DSM Desotech (Elgin, Illinois) bajo la marca DeSolite® DP 1007, y siendo el revestimiento primario de ejemplo de acuerdo con la presente invención (es decir, empleado para formar las fibras ópticas de la presente invención) un acrilato de uretano endurecible por radiación UV, proporcionado por DSM Desotech (Elgin, Illinois) bajo la marca DeSolite® DP 1011.

5 **[0069]** Cada método de prueba proporciona condiciones de tensión lateral agravadas. Además, después de medir el efecto sobre la atenuación a temperatura ambiente, las estructuras de prueba fueron sometidas a ciclos de temperatura para determinar las pérdidas adicionales inducidas por tales variaciones de temperatura.

Ejemplo 2 (Comparación de sensibilidad a microcurvatura)

10 **[0070]** El primer método de ensayo empleado fue un procedimiento de ciclos de temperatura de tejido de cesta, conocido por los que tienen experiencia ordinaria en la técnica. De acuerdo con este procedimiento de ensayo, la fibra óptica se enrolla aproximadamente a 490 mN (es decir, una tensión de 50 gf) sobre un cilindro de cuarzo de diámetro 300 mm con una "extensión" de 9 mm). Sobre el tambor de cuarzo se enrollaron cincuenta capas para crear numerosos cruces de fibra a fibra. El procedimiento de prueba para el ejemplo 2 fue una adaptación de IEC TR62221, Método D.

15 **[0071]** Los que tienen experiencia ordinaria en la técnica apreciarán que, a temperatura ambiente, tales cruces de fibra pueden a veces causar pérdidas añadidas (es decir, si la fibra óptica es muy sensible), pero se observa típicamente pocas o ningunas pérdidas añadidas. En consecuencia, el tambor (con fibra enrollada) era un doble ciclo de temperatura aproximadamente desde temperatura ambiente hasta (i) -40°C , (ii) -60°C , (iii) $+70^{\circ}\text{C}$, y (iv) $+23^{\circ}\text{C}$ (es decir, temperatura ambiente) mientras que se hacen las mediciones de pérdidas para 1.550 nanómetros. En ambos ciclos de temperatura, atenuación de la fibra se midió después de una hora para cada temperatura de ensayo.

20 **[0072]** La figura 5 representa los resultados ejemplares para fibras de vidrio de modo único recubiertas con, respectivamente, un revestimiento primario convencional (es decir, DP DeSolite® 1007) y un revestimiento primario ejemplar de acuerdo con la presente invención (es decir, DeSolite® DP 1011). Los respectivos especímenes de fibra fueron elegidos para coincidir en la geometría de revestimiento, diámetro de campo modal y longitud de onda de corte. De acuerdo con ello, las fibras ópticas respectivas emplean diferentes formulaciones de recubrimientos secundarios de color.

25 **[0073]** En resumen, tanto el revestimiento primario convencional como el revestimiento primario de ejemplo según la presente invención, proporcionan una buena protección contra tensiones de microcurvatura a 23°C . Además a -40°C , la fibra óptica que tiene el revestimiento primario convencional muestra sólo pequeñas pérdidas adicionales. (Al parecer, a -40°C , el revestimiento primario convencional proporciona una protección adecuada contra microcurvatura por tensión produciendo relajación en un plazo de tiempo razonable, aunque esto fuera cerca de su temperatura de transición vítrea.) A modo de comparación, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención no mostró esencialmente pérdida adicional alguna a -40°C (es decir, un mejor comportamiento).

30 **[0074]** A -60°C , sin embargo, la fibra óptica que tiene el revestimiento primario convencional mostró pérdidas adicionales significativas. (Esta temperatura extrema está muy por debajo de la temperatura de transición vítrea del revestimiento primario convencional). A modo de comparación, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención no mostró esencialmente pérdidas adicionales a -60°C , que está próxima a la temperatura de transición vítrea de esta realización del revestimiento primario de acuerdo con la presente invención.

35 **[0075]** Ejemplo 3 (Comparación de sensibilidad a microcurvatura)

40 **[0075]** El segundo procedimiento de ensayo emplea entornos más agresivos (es decir, condiciones) con el fin de evaluar las respectivas sensibilidades a microcurvatura de (i) una fibra óptica que posee un revestimiento primario comercial típico (es decir, el revestimiento primario convencional) y (ii) una fibra óptica que posee un revestimiento primario de ejemplo según la presente invención.

45 **[0076]** En particular, el segundo procedimiento modificado de la prueba de tambor de papel de lija de diámetro fijo IEC (es decir, IEC TR62221, Método B), para proporcionar una situación de tensión de microcurvatura suficientemente severa para afectar a las fibras de modo único incluso a temperatura ambiente (es decir, una superficie del tambor más rugosa que la utilizada para medir los datos representados en la figura 1). Para ello, un tambor de cuarzo de 300 mm de diámetro se envolvió con papel de lija de grano 220 de reverso adhesivo (es decir, aproximadamente equivalente a papel de lija de grado de 66 micras) para crear una superficie rugosa.

50 **[0077]** En una condición de prueba inicial, cada una de las muestras de fibra respectiva se enrolló en una sola capa a aproximadamente 980 mN (es decir, una tensión de 100 gf sobre un cilindro de cuarzo de 300 mm de diámetro). En una condición de prueba modificada, tres (3) de cada una de las muestras de fibra respectiva se enrolló en una sola capa a aproximadamente 1.470 mN (es decir, una tensión de 150 gf en un cilindro de cuarzo de 300 mm de diámetro de 300). Así, en comparación con la primera condición de prueba, la segunda condición de prueba aumentó la tensión de bobinado en un 50 por ciento.

55 **[0078]** Usando muestras de fibras emparejadas (como en la prueba de ciclos de temperatura/ tejido de cesta del ejemplo 2) se midió la atenuación de fibra después de enrollar a temperatura ambiente (es decir, 23°C) para cada condición de prueba. Entonces, el tambor (con 400 metros de fibra enrollada) fue sometido a ciclos de temperatura aproximadamente desde temperatura ambiente hasta (i) -40°C , (ii) -60°C , y (iii) $+23^{\circ}\text{C}$ (es decir, temperatura ambiente) haciendo mientras mediciones sobre pérdidas a 1.550 nanómetros, utilizando un reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR).

60 **[0079]** Las diversas muestras de cada tipo de fibra óptica se midieron inicialmente a 23°C sobre los carretes originales (es decir, antes de enrollarse sobre la superficie rugosa del tambor para establecer la atenuación espectral de línea de base) y luego se sometieron a condiciones de prueba rugosas posteriores durante una hora para cada

temperatura. La atenuación de la fibra se midió (como en ejemplo 2) después de una hora para cada temperatura de ensayo.

[0080] La figura 6, un gráfico de líneas, y la figura 7, un diagrama de caja, muestran resultados ejemplares bajo estas más rigurosas condiciones de prueba de fibras ópticas modo único que incluyen un recubrimiento convencional primario (es decir, DP DeSolite® 1007, acrilato de uretano endurecible por radiación UV) y para fibras ópticas de modo único que incluyen un revestimiento primario ejemplar de acuerdo con la presente invención (es decir, DeSolite® DP 1011 acrilato de uretano de endurecible por radiación UV).

[0081] La figura 6, por ejemplo, muestra que, en comparación con las fibras ópticas convencionales, las fibras ópticas de ejemplo de acuerdo con la presente invención poseen sensibilidad a microcurvatura reducida (es decir, una reducción aproximadamente del 40 al 60 por ciento).

[0082] Del mismo modo, la figura 7 muestra que, en comparación con las fibras ópticas convencionales, las fibras ópticas ejemplares según la presente invención poseen sensibilidad a microcurvatura sustancialmente reducida para una tensión de bobinado superior (es decir 1,47 N (es decir, 150 gf) sobre un cilindro de cuarzo de 300 mm de diámetro). La figura 7 ilustra por tanto que el revestimiento primario de ejemplo de acuerdo con la presente invención (es decir, DP DeSolite® 1011, acrilato de uretano endurecible por radiación UV) promueve tanto un comportamiento a microcurvatura significativamente reducido como significativamente más uniforme.

[0083] De acuerdo con lo anterior, se ha encontrado que, en comparación con un sistema de revestimiento convencional, el sistema de revestimiento presente proporciona una mejora significativa a microcurvatura cuando se utiliza en combinación con una fibra de vidrio de modo único convencional.

[0084] Se ha encontrado además que el emparejamiento de una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibra de vidrio de modo único de Draka Comteq, disponible bajo la marca BendBrightXS®) y un revestimiento primario que tiene un muy bajo módulo (por ejemplo, producto de acrilato de uretano de endurecido por radiación UV de DSM Desotech, proporcionado bajo la marca DeSolite® DP 1011), logra fibras que tienen pérdidas excepcionalmente bajas. Se llevó a cabo pruebas adicionales, por tanto, para demostrar la drástica e inesperada reducción de sensibilidad a microcurvatura proporcionadas de acuerdo con la presente invención.

Example 4 (Comparison of Microbending Sensitivity)

Ejemplo 4 (Comparación de sensibilidad a microcurvatura)

[0085] Las respectivas sensibilidades a microcurvatura se midieron para las fibras ópticas ejemplares, incluyendo (i) una fibra de vidrio de modo único convencional con un recubrimiento comercial convencional, (ii) una fibra de vidrio insensible a curvatura con un revestimiento comercial convencional, y (iii) una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS®) con el revestimiento según la presente invención (por ejemplo, el sistema de revestimiento marca Color-Lockxs de Draka Comteq).

[0086] La figura 8 demuestra que la fibra óptica de acuerdo con la presente invención, a saber, incluyendo una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq, disponibles bajo la marca BendBrightXS®) y un revestimiento primario que tiene muy bajo módulo (por ejemplo, un producto de acrilato de uretano de endurecido por radiación UV de DSM Desotech, proporcionado bajo la marca DeSolite® DP 1011), ofrece pérdidas por atenuación excepcionalmente bajas en comparación con otras fibras ópticas. Además, esta fibra óptica curva resistente curvatura exhibe pequeña dependencia de longitud de onda dentro de la ventana de transmisión comprendida entre 1.400 nanómetros y 1.700 nanómetros, y esencialmente no es afectada por las condiciones de ensayo de inducción de microcurvatura a través del espectro de prueba.

[0087] La figura 8 presenta datos de atenuación espectral ejemplares obtenidos acogiéndose a IEC TR62221, Método B (tambor de diámetro fijo). De acuerdo con IEC TR62221, Método B, la atenuación espectral inicial se midió en una muestra de 440 metros de fibra óptica, enrollada sobre un carrete de envío (es decir, obteniendo los picos y valles típicos de la atenuación a través de todo el espectro de longitudes de onda entre los límites indicados). La fibra óptica se enrolló con aproximadamente 3 N sobre un carrete de medición de 300 mm de diámetro envuelto con, papel de lija grado de 40 micras con reverso adhesivo (es decir, aproximadamente el equivalente a papel de lija de grano 300), y se obtuvo otra curva de atenuación espectral.

[0088] Al igual que las curvas presentadas en la figura 1, las curvas representadas en la figura 8 representan, a 23° C, la diferencia entre la curva espectral inicial y la curva cuando la fibra está sobre el tambor de papel de lija de diámetro fijo, proporcionando de ese modo las pérdidas adicionales debidas a tensiones por microcurvatura (es decir, diferencial de atenuación en toda la gama espectral).

Ejemplo 5 (Comparación de sensibilidad a microcurvatura)

[0089] Las respectivas sensibilidades a microcurvatura se midieron bajo rigurosas condiciones de prueba para fibras ópticas de ejemplo, incluyendo (i) una fibra de vidrio de modo único convencional con un revestimiento comercial convencional y (ii) una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS®) con el revestimiento de acuerdo con la presente invención (por ejemplo, el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq).

[0090] La figura 9 demuestra que, incluso en condiciones extremadamente severas, la fibra óptica según la presente invención, es decir que incluye una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq, disponibles bajo la marca BendBrightXS®) y un revestimiento primario que tiene muy bajo módulo (por ejemplo, un producto de acrilato de uretano endurecible por radiación UV de DSM Desotech, proporcionado bajo la marca DeSolite® DP 1011), proporciona pérdidas por atenuación sorprendentemente bajas en comparación con otras fibras ópticas.

[0091] El procedimiento de ensayo para el ejemplo 5 fue una adaptación de la norma IEC TR62221, Método B. Por esta prueba IEC modificada de tambor de papel de lija de diámetro fijo, un tambor de cuarzo de diámetro de 300 mm

fue envuelto con papel de lija de grano 180 con reverso adhesivo (es decir, aproximadamente el equivalente a papel de lija de grado de 78 micras) para crear una superficie más rugosa que incluso la descrita en el ejemplo 3 (anterior). Entonces, muestras de fibra de 440 metros fueron enrolladas en una sola capa a aproximadamente 1.470 mN (es decir, una tensión retro-controlada 150 gf sobre el cilindro de cuarzo de 300 mm de diámetro, usando una aparato devanador de fibra óptica Delachaux), y se midió la atenuación espectral.

[0092] La figura 9 presenta los datos de ciclos de temperatura de ejemplo para tres especímenes de fibra de modo único estándar (es decir, una fibra de vidrio de modo único convencional con un recubrimiento comercial convencional) y tres muestras de fibra óptica según la presente invención (es decir, una fibra de vidrio insensible a curvatura con el revestimiento mejorado de acuerdo con la presente invención). Como se ha señalado, 440 metros de fibra óptica se enrollan sobre el antes mencionado tambor de diámetro fijo cubierto de papel de lija. Una hora después de enrollar, se midió la atenuación de la fibra a temperatura ambiente (es decir, 23° C) utilizando un reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR). Entonces, el tambor (con 440 metros de fibra enrollada) se sometió a ciclos de temperatura aproximadamente desde temperatura ambiente hasta (i) -40° C y (ii) -60° C en una cámara de temperatura controlada. Se midió la atenuación de la fibra a 1.550 nanómetros mediante un OTDR después de una hora de equilibrio a ambos -40° C y -60° C.

[0093] La sensibilidad a microcurvatura (Sm) se puede describir como $\alpha R/T$, en donde α es el aumento de atenuación sobre el tambor (dB/km), R es el radio del tambor fijo (mm), y T es la tensión de bobinado (N) aplicada a la fibra. Véase, por ejemplo, el Informe técnico IEC TR62221 (sensibilidad a microcurvatura). Además de los parámetros α , R, T y, sin embargo, la métrica sensibilidad a microcurvatura obtenida a partir de la prueba de tambor de papel de lija de diámetro fijo depende de la tosquedad del papel de lija utilizado en el tambor de medición.

[0094] La tabla 1 (abajo) presenta la métrica de sensibilidad a microcurvatura obtenida a partir de los datos de atenuación (a una longitud de onda de 1.550 nanómetros) representados en la figura 9 (es decir, empleando de papel de lija de grano 180). La tabla 1 muestra que, en comparación con una fibra de modo único estándar convencional, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención proporciona sensibilidad a microcurvatura que es de alrededor de 2 a 10 veces inferior a 23° C y aproximadamente de 2 a 5 veces inferior a -40° C:

Tabla 1 (Sensibilidad a microcurvatura)

Fibra óptica (Color revestimiento)	23° C (dB/km)/(N/mm)	-40° C (dB/km)/(N/mm)	-60° C (dB/km)/(N/mm)
SMF convencional (azul)	139,9	220,6	331,8
SMF convencional (rojo)	261,0	329,7	417,9
SMF convencional (cian)	104,3	161,9	228,0
BendBright ^{XS®} w/ ColorLock ^{XS} (gris pizarra)	35,8	76,5	163,4
BendBright ^{XS®} w/ ColorLock ^{XS} (rojo)	30,1	70,6	144,2
BendBright ^{XS®} w/ ColorLock ^{XS} (cian)	42,7	84,7	166,4

Ejemplo 6 (Comparación de sensibilidad a microcurvatura)

[0095] Las respectivas sensibilidades a microcurvatura se midieron además para fibras ópticas ejemplares, incluyendo (i) una fibra de vidrio de modo único convencional con un revestimiento comercial convencional y (ii) una fibra de vidrio insensible a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq, disponibles bajo la marca BendBrightXS®) con el revestimiento según la presente invención (por ejemplo, el sistema de revestimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq).

[0096] El procedimiento de ensayo para el ejemplo 6 fue una adaptación de la norma IEC TR62221, Método B. Por esta prueba IEC modificada tambor de papel de lija de diámetro fijo, un tambor de cuarzo de 300 mm de diámetro fue envuelto con papel de lija de grano 220 con reverso adhesivo (es decir, aproximadamente el equivalente a papel de lija de grado de 66 micras) para crear una superficie rugosa como la descrita en el ejemplo 3. Cada una de las muestras de fibra se enrolló en una sola capa a aproximadamente 1470 mN (es decir, una tensión de 150 gf sobre un cilindro de cuarzo de 300 mm de diámetro). En comparación con las condiciones de ensayo del ejemplo 5, las condiciones de ensayo del ejemplo 6, empleó papel de lija de grado más fino (es decir, de grano 220 en lugar de grano 180).

[0097] Como en el ejemplo 3, utilizando muestras de fibra emparejadas, se midió la atenuación de fibra después de enrollarla a temperatura ambiente (es decir, 23° C). Entonces, el tambor (con aproximadamente 400 metros de fibra enrollada) se sometió a ciclos de temperatura aproximadamente desde temperatura ambiente hasta (i) -40° C, (ii) -60° C, y (iii) +23° C (es decir, temperatura ambiente) mientras se realizan mediciones de pérdidas a 1550 nanómetros, usando un reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR).

[0098] Tres (3) muestras de cada tipo de fibra óptica se midieron inicialmente a 23° C sobre los carretes originales (es decir, antes de enrollarse sobre la superficie del tambor rugosa para establecer atenuación espectral de línea de base) y luego se sometieron a las antes mencionadas rigurosas condiciones de prueba durante una hora a cada temperatura. La atenuación de fibra se midió después de una hora para cada temperatura.

[0099] La figura 10 representa resultados ejemplares para fibras ópticas de modo único que incluyen un revestimiento primario convencional (es decir, acrilato de uretano de endurecido por radiación UV DeSolite® DP 1007) y para fibras de vidrio insensibles a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq

disponibles bajo la marca BendBrightXS®) que incluyen un revestimiento que tiene muy bajo módulo (es decir, el producto de acrilato de uretano de endurecido por radiación UV de DSM Desotech, proporcionado bajo la marca DeSolite® DP 1011).

5 [0100] La figura 10 demuestra que la fibra óptica según la presente invención, concretamente fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS® con un revestimiento primario que tiene muy bajo módulo (por ejemplo, producto de acrilato de uretano de endurecido por radiación UV de DSM Desotech proporcionado bajo la marca DeSolite® DP 1011), ofrece pérdidas por atenuación excepcionalmente bajas en comparación con las fibras ópticas de modo único estándar (SSMF).

10 [0101] Además, las figuras 11 y 12 representan respectivamente la atenuación y la sensibilidad a microcurvatura para una longitud de onda de 1.550 nanómetros como una función del número MAC (es decir, el diámetro de campo modal dividido por la longitud de onda de corte) para diversas fibras ópticas de ejemplo de acuerdo con la prueba de tambor de papel de lija de diámetro fijo estándar IEC (es decir, IEC TR62221, Método B). Los datos de atenuación respectivos representados en la figura 11 (pérdidas añadidas) y la figura 12 (sensibilidad a microcurvatura) se obtuvieron a 23° C, bajo las condiciones de prueba descritas anteriormente con respecto a la figura 1 (es decir, muestras de 400 metros de fibra se enrollan a aproximadamente 2.940 mN (es decir, una tensión de 300 gf) sobre un carrete de fibra de diámetro de 300 mm envuelto con papel de lija de grado de 40 micras con reveso adhesivo).

15 [0102] La figura 11 muestra que las fibras de vidrio de modo único resistentes a curvatura de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS® en combinación con el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq ofrecen un comportamiento excepcional con respecto a pérdidas añadidas.

20 [0103] La figura 12 muestra las fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS® en combinación con el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq, proporcionan sensibilidad a microcurvatura superior (es decir, la sensibilidad microcurvatura de 0,01 a 0,03 (dB/km)/(gf/mm)).

25 [0104] Las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención típicamente incluyen además un revestimiento secundario resistente para proteger el revestimiento primario y la fibra de vidrio contra daños durante la manipulación y la instalación. Por ejemplo, el revestimiento secundario podría tener un módulo comprendido entre aproximadamente 800 MPa y 1000 MPa (por ejemplo, aproximadamente 900 MPa), medido en una película de 75 micras estándar. Como se describe en el presente documento, este revestimiento secundario puede estar entintado como código de color o, preferiblemente, puede ser de color inclusivo para proporcionar la identificación sin necesidad de un proceso de entintado separado.

30 [0105] En una forma de realización según la presente invención, el revestimiento secundario, que rodea el revestimiento primario para proteger de ese modo la estructura de la fibra, cuenta con un sistema de coloración inclusivo (es decir, que no requieren una capa extra de tinta a añadir para la codificación de color). El color, que se ajusta a las normas Munsell para código de color de fibras ópticas código, se mejora en brillo y visibilidad para condiciones de poca luz (por ejemplo, bajo sombra profunda o en espacios cerrados, tales como pozos de registro) y son fácilmente distinguidas tanto en fondos luminosos como oscuros.

35 [0106] Además, el revestimiento secundario presenta una superficie que proporciona una excelente interfaz con el material de matriz de cinta de modo que la matriz se separa fácilmente de la fibra coloreada de manera que no se sacrifica la robustez. Las propiedades mecánicas del recubrimiento secundario coloreado están en equilibrio con las del revestimiento primario de modo que, en la extracción por calentamiento, el material compuesto revestimiento/matriz se separa limpiamente de las fibras de vidrio.

40 [0107] Empleando la fibra de vidrio de modo único resistente a curvatura de Draka Comteq, disponible bajo la marca BendBrightXS® (o la marca BendBright-Elite™) con el sistema de doble revestimiento presente, que incluye un revestimiento primario de bajo módulo, se ha encontrado reducir la sensibilidad a microcurvatura de entre aproximadamente uno a dos órdenes de magnitud en relación a la fibra de modo único estándar (SSMF) para las frecuencias de transmisión claves de 1.550 nanómetros y 1625 nanómetros. Como se ha indicado, tal fibra óptica no sólo proporciona una extraordinaria resistencia a microcurvatura y macrocurvatura, sino que también cumple con los requisitos de ITU-T G.657.A/B y ITU-T G.652.D.

45 [0108] En particular, la fibra de vidrio de modo único resistente a curvatura de Draka Comteq disponible bajo la marca flexión BrightXS® (por ejemplo, mejorada con sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq) proporciona resistencia a macrocurvatura requerida para curvas subtendidas con un radio tan bajo como cinco (5) milímetros con una probabilidad de fallo estimada en menos de dos (2) fracturas por millón de curvas de círculo completo (es decir, 360°) en 30 años en un ambiente adecuadamente protegido. Estas fibras ópticas resistentes a curvatura facilitan el rápido despliegue de pequeños cables flexibles para la entrega de fibra a locales/negocio/hogar (es decir, FTTx) en virtud de la capacidad de la fibra óptica para sostener una transmisión sin pérdidas a través de curvas de radio pequeño. Cables que emplean tales fibras ópticas resistentes a curvatura pueden ser encaminados por curvas cerradas, grapados al marco de construcción, en espiral, y empleadas de otro modo en entornos exigentes manteniendo la transmisión de señal clara y fuerte.

50 [0109] En otro aspecto, las fibras ópticas insensibles a curvatura según la presente invención facilitan la reducción en diámetro total de la fibra óptica. Como se apreciará por aquellos con experiencia ordinaria en la técnica, una fibra óptica de diámetro reducido es rentable, al requerir menos materia prima. Además, una fibra óptica de diámetro reducido requiere menor disponibilidad de espacio (por ejemplo, dentro de un tubo de protección y/o cable de fibra óptica), facilitando con ello aumento de cantidad de fibra y/o tamaño de cable reducido.

55 [0110] Los expertos en la técnica reconocerán que una fibra óptica con un revestimiento primario (y opcionalmente un revestimiento secundario y/o una capa de tinta) tiene típicamente un diámetro exterior de entre aproximadamente 235 micras y aproximadamente 265 micras (µm). La fibra de vidrio componente en sí misma (es decir, el núcleo de

vidrio y capas de revestimiento de alrededor suyo) tiene típicamente un diámetro de alrededor de 125 micras, de manera que el espesor total del revestimiento está típicamente comprendido entre aproximadamente 55 micras y 70 micras.

[0111] Con respecto a la fibra óptica de acuerdo con la presente invención, la fibra de vidrio componente tiene típicamente un diámetro exterior de aproximadamente 125 micras. Con respecto a las capas de revestimiento que rodean la fibra óptica, el revestimiento primario típicamente tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 175 micras y aproximadamente 195 micras (es decir, un espesor de revestimiento primario de entre aproximadamente 25 micras y 35 micras) y teniendo típicamente el revestimiento secundario un diámetro exterior de entre aproximadamente 235 micras y aproximadamente 265 micras (es decir, un espesor de recubrimiento secundario comprendido entre aproximadamente 20 micras y 45 micras). Opcionalmente, la fibra óptica según la presente invención puede incluir una capa de tinta más externa, que tiene típicamente entre dos y diez micras de espesor.

[0112] En una realización alternativa, una fibra óptica según la presente invención puede presentar un diámetro reducido (por ejemplo, un diámetro exterior de entre aproximadamente 150 micras y 230 micras). En esta configuración de fibra óptica alternativa, el grosor del revestimiento primario y/o recubrimiento secundario se reduce, mientras que el diámetro de la fibra de vidrio componente se mantiene en aproximadamente 125 micras. (Los que tienen experiencia ordinaria en la técnica, apreciarán que, a menos que se especifique lo contrario, las mediciones de diámetro se refieren a diámetros exteriores.)

[0113] En tales realizaciones de ejemplo, la capa de revestimiento primario puede tener un diámetro exterior de entre aproximadamente 135 micras y aproximadamente 175 micras (por ejemplo, aproximadamente 160 micras), típicamente menos de 165 micras (por ejemplo, entre aproximadamente 135 micras y 150 micras), y por lo general más de 140 micras (por ejemplo, entre aproximadamente 145 micras y 155 micras, tal como aproximadamente 150 micras). Además, en tales ejemplos de realización, la capa de recubrimiento secundario puede tener un diámetro exterior comprendido entre aproximadamente 150 micras y aproximadamente 230 micras (por ejemplo, más de aproximadamente 165 micras, tal como 190 a 210 micras o menor), típicamente entre aproximadamente 180 micras y 200 micras. En otras palabras, el diámetro total de la fibra óptica se reduce a menos de aproximadamente 230 micras (por ejemplo, entre aproximadamente 195 micras y 205 micras, y especialmente alrededor de 200 micras).

[0114] Una forma de realización de fibra óptica ejemplar emplea un recubrimiento secundario de aproximadamente 197 micras con una tolerancia de ± 5 micras (es decir, un revestimiento secundario de diámetro exterior de entre 192 micras a 202 micras). Típicamente, el revestimiento secundario mantendrá un espesor de, al menos, aproximadamente 10 micras (por ejemplo, una fibra óptica que tiene un revestimiento secundario de espesor reducido de entre 15 micras y 25 micras).

[0115] De acuerdo con lo anterior, un diámetro reducido en particular, de una realización de fibra óptica que tiene pérdidas excepcionalmente bajas emplea fibra de vidrio de modo único de 125 micras de Draka Comteq disponible bajo la marca BendBrightXS® con una capa de revestimiento primario de módulo bajo de 155 micras de diámetro (por ejemplo, el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq) y un revestimiento secundario (por ejemplo, un revestimiento secundario con un diámetro nominal de 200 micras). Como se ha señalado, la fibra óptica insensible a curvatura BendBrightXS® cumple con los requisitos de ITU-T G.657.A/B y ITU-T G.652.D. En esta forma de realización de fibra óptica, la tolerancia máxima con respecto al espesor de revestimiento primario es de ± 5 micras (es decir, un revestimiento primario de diámetro exterior de entre 150 micras y 160 micras), más típicamente de aproximadamente $\pm 2,5$ micras (es decir, un revestimiento primario de diámetro exterior de entre aproximadamente 152,5 micras y 157,5 micras).

[0116] Otra realización particular de fibra óptica de diámetro reducido, que tiene pérdidas excepcionalmente bajas emplea fibra de vidrio de modo único de 125 micras de Draka Comteq disponible bajo la marca BendBright-Elite™ con un capa de revestimiento primario de bajo módulo de 155 micras de diámetro (por ejemplo, el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq) y un revestimiento secundario (por ejemplo, un revestimiento secundario de 200 micras de diámetro nominal). Una fibra óptica insensible a curvatura como BendBrightXS®, la fibra óptica insensible a curvatura BendBright-Elite™ cumple con los requisitos de ITU-T G.657.A/B y ITU-T G.652.D. En esta forma de realización de fibra óptica, la tolerancia máxima con respecto al espesor de revestimiento primario es de ± 5 micras (es decir, un diámetro exterior de revestimiento primario de entre 150 micras y 160 micras), más típicamente de aproximadamente $\pm 2,5$ micras (es decir, un revestimiento primario de diámetro exterior de entre aproximadamente 152,5 micras y 157,5 micras).

[0117] La combinación sinérgica de (i) fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura BendBrightXS® de Draka Comteq (o fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura de Draka Comteq BendBright-Elite™) y (ii) el sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq, promueve reducciones significativas en el diámetro de fibra óptica.

[0118] A modo de ejemplo, la fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura de 125 micras de Draka Comteq BendBrightXS® en combinación con una capa de revestimiento primario de 155 micras de diámetro, de bajo módulo (por ejemplo, el sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq) y una capa de recubrimiento secundario de 200 micras de diámetro proporciona (i) comportamiento a microcurvatura comparable al de una fibra de vidrio de modo único estándar de 125 micras de fibra de vidrio, revestida con una capa de revestimiento primario de bajo módulo de 185 micras de diámetro (por ejemplo, el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq) y una segunda capa de revestimiento de 242 micras de diámetro y (ii) un comportamiento a microcurvatura significativamente mejor que el de una fibra óptica de modo único estándar (SSMF) que emplea revestimientos primario y secundario convencionales (es decir, en un diámetro exterior de aproximadamente 235 a 265 micras).

[0119] Como se señaló anteriormente, una composición adecuada para el revestimiento primario es un producto de acrilato de uretano endurecible por radiación UV proporcionado por DSM Desotech (Elgin, Illinois) bajo la marca DeSolite® DP 1011. Se cree que este producto de acrilato de uretano endurecible por radiación UV, incluye aproximadamente el 1,0 por ciento de promotor de adhesión. Otras composiciones adecuadas para el revestimiento primario incluyen productos alternativos de acrilato de uretano de endurecido por radiación UV, proporcionadas por DSM Desotech bajo distintos nombres comerciales, incluyendo DeSolite® DP 1014, DP DeSolite® 1014XS y DeSolite® DP 1016. Se cree que estas composiciones alternativas poseen esencialmente las mismas propiedades de bajo módulo y de transición vítrea que las poseídas por el antes mencionado producto de acrilato de uretano endurecible por radiación UV DeSolite® DP 1011, aunque con alguna variación de composición (por ejemplo, concentración de promotor de adhesión aumentado al 1,25 por ciento). Como será apreciado por aquellos con experiencia ordinaria en el arte, variaciones de composición pueden proporcionar determinadas propiedades de revestimiento primario que son deseables para aplicaciones particulares. Parece que el producto de acrilato de uretano endurecible por radiación UV DeSolite® DP 1014XS, por ejemplo, exhibe características de procesamiento favorables y proporciona una mejor resistencia a exfoliación.

[0120] Aquellos con experiencia ordinaria en la técnica apreciarán que cada uno de estos productos de acrilato de uretano endurecible por radiación UV de ejemplo (es decir, DeSolite® DP 1011, DeSolite® DP 1014, DP DeSolite® 1014XS y DeSolite® DP 1016), proporciona un mejor comportamiento a microcurvatura que los hechos de revestimientos primarios convencionales, tales como otros productos de acrilato de uretano endurecibles por radiación UV proporcionados por DSM Desotech bajo las respectivas marcas DeSolite® 1004 DP y DP DeSolite® 1007.

Ejemplo 7 (Comparación de sensibilidad a microcurvatura)

[0121] Las respectivas sensibilidades microcurvatura se midieron adicionalmente para fibras ópticas ejemplares, incluyendo (i) una fibra de vidrio de modo único mejorada (ESMF) con un revestimiento de bajo módulo, (ii) varias fibras de vidrio insensibles a curvatura (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo las marcas BendBrightXS®) con revestimientos primarios convencionales y (iii) varias fibras de vidrio insensibles a curvatura y fibras de vidrio resistentes a macrocurvatura cristal (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo las marcas BendBrightXS® y BendBright®) con revestimientos primarios de bajo módulo.

[0122] El procedimiento de ensayo para el ejemplo 7 fue una adaptación de IEC TR62221, Método B. Por esta prueba IEC modificada de tambor papel de lija de diámetro fijo, un cilindro de cuarzo 300 milímetros de diámetro se envolvió con papel de lija de grano 320 de reverso adhesivo (es decir, aproximadamente el equivalente a papel de lija de grado de 36 micras) para crear una superficie rugosa - aunque una más fina superficie que las superficies empleadas en los ejemplos 3 a 6. Entonces, cada muestra de fibra de 440 metros se enrolló en una sola capa a aproximadamente 1.470 mN (es decir, una tensión controlada de 150 gf sobre el tambor de cuarzo de 300 milímetros de diámetro, usando un aparato de bobinado de fibra óptica Delachaux). Por conveniencia, esta modificación particular de IEC TR62221, Método B, se denomina en este documento como "Prueba de sensibilidad a microcurvatura de fibra óptica de diámetro reducido".

[0123] Dos horas después del bobinado, se midió la atenuación de fibra a temperatura ambiente (es decir, 23° C) utilizando un reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR). Entonces, el tambor (con 440 metros de fibra enrollada) se sometió a ciclos de temperatura en un cámara de temperatura controlada desde aproximadamente temperatura ambiente hasta (i) -40° C y (ii) -60° C. Se midió la atenuación de fibra se midió mediante un reflectómetro óptico de dominio temporal (OTDR) después de dos horas de equilibrio, tanto a -40° C como a -60° C.

[0124] La atenuación de fibra absoluta medida a una longitud de onda de 1.550 nanómetros se proporciona en la tabla 2 (a continuación).

Tabla 2 (Sensibilidad a microcurvatura - 1550 nm)

Ej.	Fibra óptica fibra vidrio/revestimiento primario (diámetros revestimiento y fibra de vidrio)	23° C (dB/km)	-40° C (dB/km)	-60° C (dB/km)
SMF insensibles a curvatura de 200 micras con revestimientos primarios de bajo módulo				
A	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m / 155m / 199m)	1.114	1.019	1.002
B	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m/150m / 199m)	1.786	1.612	1.542
C	BendBright ^{XS®} w/ DP1016 (125m/150m/199m)	1.488	1.367	1.536
SMF insensibles a curvatura de 200 micras con revestimientos primarios convencionales				
D	BendBright ^{XS®} w/ DSM 950-076 (125m / 160m / 199m)	2.726	3.215	3.595
E	BendBright ^{XS®} w/ DSM 950-076 (125m /150m /199m)	4.288	4.766	5.150
SMF resistentes a microcurvatura de 200 micras con revestimientos primarios de bajo módulo				

F	BendBright [®] w/ DP1014XS (125m/150m/199m)	4.683	4.348	4.878
G	BendBright [®] w/ DP1016 (125m/150m / 199m)	5.985	5.800	5.399

[0125] La tabla 2 (anterior) muestra que la fibra de vidrio de modo único de 125 micras BendBrightXS[®] de Draka Comteq facilita una reducción en el diámetro total de fibra óptica al permitir el uso de revestimientos primario y/o secundario más delgados. En este sentido, una fibra óptica de 200 micras que usa fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura BendBrightXS[®] de Draka Comteq y revestimientos primario y secundario relativamente delgados proporciona comportamiento a microcurvatura que se aproxima al de una fibra óptica de 242 micras con una fibra de modo único estándar mejorada (ESMF) y las capas más gruesas de revestimientos primario y secundario comparables.

[0126] Atenuación de fibra absoluta medida a una longitud de onda de 1310 nanómetros se proporciona en la tabla 3 (a continuación):

Tabla 3 (Sensibilidad a microcurvatura – 1.310 nm)

Ej.	Fibra óptica fibra de vidrio con revestimiento primario (diámetros revestimiento y fibra de vidrio)	23 °C (dB/km)	-40 °C (dB/km)	-60 °C (dB/km)
SMF insensibles a curvatura de 200 micras con revestimientos primarios de bajo módulo				
A	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m/155m /199m)	0.954	3.869	0.758
B	BendBright ^{XS®} w/ DP 1014XS (125m /150m / 199m)	1.574	1.426	1.478
C	BendBright ^{XS®} w/ DP1016 (125m / 150m / 199m)	1.496	1.381	1.509
SMF insensibles a curvatura de 200 micras con revestimientos primarios convencionales				
D	BendBright ^{XS®} w/ DSM 950-076 (125m / 160m / 199m)	2.238	2.683	3.015
E	BendBright ^{XS®} w/ DSM 950-076 (125m/150m/199m)	4.020	4.363	4.671
SMF resistentes a macrocurvatura de 200 micras con revestimientos primarios de bajo módulo				
F	BendBright [®] w/ DP1014XS (125m/150m/199m)	2.670	2.447	2.761
G	BendBright [®] w/ DP1016 (125m /150m/ 199m)	3.725	3.550	3.927

[0127] La fibra óptica comparativa de 200 micras designada como ejemplo D en las tablas 2 y 3 (arriba) empleó el revestimiento secundario utilizado en el sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq, aunque con un revestimiento primario convencional. La fibra óptica de comparación de 200 micras designada como ejemplo E en las tablas 2 y 3 (anteriores) emplea tanto un revestimiento primario convencional (es decir, DSM 950 a 076) como un recubrimiento secundario convencional (es decir, DSM 950-044).

[0128] Las tablas 2 y 3 (arriba) indican que, en igualdad de condiciones, los revestimientos primarios de bajo módulo de acuerdo con la presente invención (por ejemplo, el sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq) proporcionan un mejor comportamiento a microcurvatura que los sistemas de recubrimiento convencionales. Este comportamiento a microcurvatura superior es especialmente importante cuando se emplea una capa de revestimiento primario en un espesor reducido de manera significativa en una fibra de vidrio de 125 micras a fin de lograr una fibra óptica nominal de 200 micras.

[0129] Además, las tablas 2 y 3 (anteriores) indican que, en igualdad de condiciones, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq, disponibles bajo la marca BendBrightXS[®], que emplean un diseño de zanja asistida, proporcionan un mejor comportamiento a microcurvatura que lo hecho por fibras de modo único que no emplean diseños de zanja asistida y/o sin asistir (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBright[®]). Esto es algo inesperado ya que se entiende generalmente que diseños de zanja asistida y otros de vidrio insensibles a curvatura tienen efectos más pronunciados sobre macrocurvatura que sobre microcurvatura.

Ejemplo 8 (Comparación de sensibilidad a microcurvatura)

[0130] Las respectivas sensibilidades microcurvatura se midieron además de acuerdo con la prueba IEC de tambor de diámetro fijo de papel de lija (es decir, IEC TR62221, Método B) para fibras ópticas ejemplares, incluyendo (i) fibras de vidrio de modo único mejoradas (ESMF) con sistema de revestimiento marca ColorLock de Draka Comteq y (ii) fibras de vidrio de modo único de Draka Comteq disponibles bajo la marca BendBrightXS[®] con sistema de recubrimiento mejorado marca ColorLockXS de Draka Comteq.

[0131] Como en el ejemplo 7 (anterior), el procedimiento de prueba para el ejemplo 8 fue igualmente una adaptación de IEC TR62221, Método B (es decir, el "Prueba de sensibilidad a microcurvatura de fibra óptica de diámetro reducido"). Mediante esta prueba IEC de tambor de papel de lija de diámetro fijo modificada, se envolvió un cilindro de cuarzo de 300 milímetros de diámetro con papel de lija de grano 320 con reverso adhesivo (es decir, aproximadamente el equivalente a papel de lija de grado de 36 micras) para crear una superficie rugosa. Luego, cada muestra de fibra de 440 metros se enrolló en una sola capa a aproximadamente 1.470 mN (es decir, una tensión controlada de 150 gf en el tambor de cuarzo de 300 milímetros de diámetro utilizando un aparato de devanado de fibra óptica Delachaux). Dos horas después del devanado, se midió atenuación de fibra a temperatura ambiente (es decir, 23° C), utilizando un reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR).

[0132] En la tabla 4 (siguiente) se proporciona la atenuación de fibra absoluta medida a una longitud de onda de 1.550 nanómetros.

Ej.	Fibra óptica fibra de vidrio con revestimiento primario (diámetros de revestimiento y fibra)	23 °C (dB/km)
SMF insensibles a curvatura de 200 micras nominales con revestimientos primarios de bajo módulo		
A	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m / l 153m / 194m)	0.97
B	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m / 154m/191m)	0.98
C	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m / 154m /198m)	1.05
D	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m / 158m / 200m)	0.74
E	BendBright ^{XS®} w/ DP1014XS (125m / 160m / 201m)	0.70
SMF mejoradas de 242 micras con revestimientos primarios convencionales		
F	ESMF w/DP1007 (125m/190m/242m)	2.004
G	ESMF w/DP1007 (125m/190m /242m)	1.661
H	ESMF w/ DP1007 (125 m / 190m / 242m)	1.542
I	ESMF w/ DP1007 (125m/190m/242m)	1.568
J	ESMF w/ DP1007 (125m/190m/242m)	1.973

Tabla 4 (Sensibilidad a microcurvatura - 1550 nm)

[0133] La tabla 4 (anterior) muestra que, fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura BendBrightXS® de 125 micras de Draka Comteq en combinación con (i) un revestimiento primario de bajo módulo que tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 150 micras y 160 micras y (ii) un recubrimiento secundario que tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 195 micras y 200 micras proporciona un comportamiento a microcurvatura significativamente mejorado en comparación con la fibra de vidrio de modo único convencional mejorada (ESMF) de 125 micras en combinación con un revestimiento primario convencional de 190 micras de diámetro y un revestimiento secundario convencional de 200 micras de diámetro.

[0134] Dicho de otra manera, una fibra óptica de 200 micras nominales formada a partir fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura BendBrightXS® de 125 micras de Draka Comteq y el sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq, ofrece superior comportamiento a microcurvatura al de la fibra óptica de modo único mejorada (ESMF) de 242 micras que emplea revestimientos primario y secundario convencionales.

[0135] Además, una fibra óptica de 200 micras nominales formada a partir de fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura BendBrightXS® de 125 micras de Draka Comteq 125 y el sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq, proporciona comportamiento a microcurvatura similar al de una fibra óptica de modo único mejorada (ESMF) de 200 micras que emplea un revestimiento primario de bajo módulo comparable y un revestimiento secundario comparable. A modo de ejemplo, las fibras ópticas de 200 micras designadas como ejemplos A hasta E en la tabla 4 (anterior) proporcionan un comportamiento a microcurvatura, comparable al de la fibra óptica de modo único de 242 micras designada como ejemplo H en la tabla 2 (anterior), que, como se indicó, era una fibra óptica de 242 micras con una fibra de modo único estándar mejorada (ESMF) y capas más gruesas de revestimientos primario de bajo módulo y secundario comparables.

[0136] Como se ha indicado, mientras que las fibras de vidrio de modo único que están disponibles comercialmente en Draka Comteq bajo la marca BendBright® cumplen con los requisitos de G.652.D UIT-T, las fibras de vidrio de modo único comercialmente disponibles en Draka Comteq bajo las marcas BendBrightXS® y BendBright-Elite™ son compatibles con los requisitos de la ITU-T G.652.D y los requisitos de ITU-T G.657.A / B.

[0137] A este respecto las especificaciones técnicas de producto para las siguientes fibras ópticas de modo único de Draka Comteq: (i) fibra de modo único mejorada (ESMF); (ii) fibra óptica de modo único BendBright®; (iii) fibra óptica de modo único BendBrightXS® óptica; y (iv) fibra óptica de modo único BendBright-Elite™ se revelan en los anexos

1 a 4, respectivamente, en la solicitud provisional EE.UU N° 61/248.319, por una *fibra óptica de diámetro reducido* (presentada el 2 de octubre de 2009), que sirve como solicitud prioritaria de esta solicitud.

[0138] Dentro del alcance de la presente invención se encuentra conseguir fibras ópticas de diámetro reducido mediante el empleo de fibras de vidrio insensibles a curvatura diferentes de las de zanja asistida. A este respecto, la publicación de solicitud de patente US 2008/0056654 A1 por "Fibra óptica de modo único con pérdidas por curvatura bajas" (Bickham et al.), revela una fibra de vidrio que incluye una región de revestimiento con un índice de refracción deprimido.

[0139] Se cree que las fibras de vidrio anteriores, pueden ser combinadas con los revestimientos primarios de bajo módulo como se revela aquí, para lograr fibras ópticas de diámetro satisfactoriamente reducido. Como tal, las fibras ópticas de diámetro reducido resultantes (por ejemplo, fibras con huecos rellenos de aire con revestimientos primarios de bajo módulo) se encuentran dentro del alcance de la presente invención.

[0140] Dicho esto, se ha observado de forma preliminar que, con respecto a las fibras ópticas de diámetro reducido que tienen revestimientos primarios de bajo módulo, fibras de vidrio insensibles a curvatura que tienen diseños totalmente macizos (por ejemplo, fibras de vidrio de modo insensibles a curvatura BendBrightXS® de 125 micras) parecen proporcionar mejor comportamiento a microcurvatura que lo hecho por fibras de vidrio insensibles a curvatura con diseños asistidos por agujero.

[0141] Además, de manera preliminar se ha observado que, con respecto a fibras ópticas de diámetro reducido, fibras de vidrio insensibles a curvatura con diseños completamente macizos (por ejemplo, fibras de vidrio de modo único insensibles a curvatura BendBrightXS® de 125 micras) también parecen proporcionar un mejor rendimiento mecánico que lo hecho por fibras de vidrio insensibles a curvatura con diseños sin asistir (por ejemplo, fibras agujereadas). Los expertos en la técnica apreciarán que la robustez mecánica es una consideración importante de la fibra óptica cuando se emplea una fibra de vidrio insensible a curvatura con 200 micras nominales.

[0142] A este respecto, las fibras ópticas de 200 micras que se forman a partir de (i) fibra de vidrio de modo único insensibles a curvatura BendBrightXS® de 125 micras de Draka Comteq, que tiene un diseño de cristal completamente macizo, y (ii) el sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq, demuestran fiabilidad mecánica comparable a las de una fibra óptica estándar de 242 micras (por ejemplo, una SSMF).

[0143] Las fibras ópticas de 200 micras que se forman a partir de fibra de vidrio de modo único insensible a curvatura BendBrightXS® de 125 micras de Draka Comteq y el sistema de revestimiento marca ColorLockXS de Draka Comteq, se probaron respecto a resistencia a tracción y fatiga dinámica de acuerdo con la norma FOTP-28. La fiabilidad mecánica representativa de estas fibras ópticas de 200 micras, que poseían revestimientos secundarios coloreados diferentemente, se proporcionan en la tabla 5 (siguiente).

Tabla 5 (Fiabilidad mecánica)

Tabla 5 (Fiabilidad mecánica)

ColorLock XS color	Resistencia a tracción 50% rotura (kpsi)	Resistencia a tracción 15% rotura (kpsi)	Fatiga dinámica (valor-n)
Azul	711	539	22.5
Naranja	712	626	22.0
Verde	705	600	20.4
Marrón	675	557	20.8
Pizarra	721	623	22.8
Blanco	729	577	21.8
Rojo	708	577	20.9
Negro	709	627	22.8
Amarillo	715	540	21.4
Violeta	713	580	21.6
Rosa	723	557	21.9
Agua	730	580	23.0

[0144] Como se entenderá por los expertos en la técnica, los requisitos industriales mínimos para resistencia a tracción en rotura de fibra son 550 kpsi en el percentil 50º de la distribución de resistencia a tracción de fibra óptica (es decir, la resistencia a tracción mediana) y 455 kpsi en el percentil 15º de la distribución de resistencia a tracción de fibra óptica.

[0145] El requisito industrial mínimo para el factor de corrosión-fatiga dinámica por tensión (valor n) es de 18. A este respecto, el factor de corrosión-fatiga dinámica por tensión proporciona una indicación de qué tan rápido se propaga un defecto en la estructura de sílice de la fibra de vidrio bajo tensión.

[0146] Como se entenderá adicionalmente por los expertos en la técnica, tanto como para la resistencia a tracción como para el factor de corrosión bajo tensión de fatiga dinámica, un muestreo adecuado de fibras ópticas (por ejemplo, $n = 30$) proporciona una estimación estadística que facilita la caracterización de la población de fibra óptica.

5 **[0147]** En otra realización alternativa, el diámetro exterior de la fibra de vidrio componente puede reducirse a menos de 125 micras (por ejemplo, entre aproximadamente 60 micras y 120 micras), tal vez entre aproximadamente 70 micras y 115 micras (por ejemplo, aproximadamente de 80 a 110 micras). Esto puede conseguirse, por ejemplo, mediante la reducción del espesor de una o más capas de revestimiento.

10 **[0148]** En comparación con la realización alternativa anterior, (i) el diámetro total de la fibra óptica puede ser reducido (es decir, el espesor de los revestimientos primario y secundario se mantiene de acuerdo con la realización alternativa anterior) o (ii) los respectivos espesores de los revestimientos primario y/o secundario pueden aumentarse con relación a la forma de realización alternativa anterior (por ejemplo, de modo tal que el diámetro total de la fibra óptica pueda ser mantenido).

15 **[0149]** A modo de ilustración, con respecto a lo primero, una fibra de vidrio componente con un diámetro de entre aproximadamente 90 y 100 micras puede ser combinada con una capa de revestimiento primario que tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 110 micras y 150 micras (por ejemplo, aproximadamente 125 micras) y una capa de revestimiento secundario que tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 130 micras y 190 micras (por ejemplo, aproximadamente 155 micras). Con respecto al último, una fibra de vidrio componente con un diámetro de entre aproximadamente 90 y 100 micras podría combinarse con una capa de revestimiento primario con un diámetro exterior de entre aproximadamente 120 micras y 140 micras (por ejemplo, aproximadamente 130 micras) y una capa de revestimiento secundario con un diámetro exterior comprendido entre aproximadamente 160 micras y 230 micras (por ejemplo, aproximadamente 195 a 200 micras).

20 **[0150]** Parece que la reducción del diámetro de la fibra de vidrio componente puede hacer la fibra óptica resultante más susceptible a atenuación por microcurvatura. Por ejemplo, en comparación con una fibra de vidrio componente que tiene un diámetro estándar de 125 micras, un componente de fibra de vidrio con un diámetro de 110 micras puede ser el doble de susceptible a pérdidas por microcurvatura. Dicho esto, las ventajas de reducir aún más el diámetro de fibra óptica pueden ser útiles para algunas aplicaciones de fibra óptica.

25 **[0151]** Como se ha indicado, la fibra óptica de acuerdo con la presente invención puede incluir una o más capas de revestimiento (por ejemplo, un revestimiento primario y un revestimiento secundario). Al menos una de las capas de revestimiento - típicamente el revestimiento secundario - puede ser de color y/o tener otras marcas para ayudar a identificar las fibras individuales. Alternativamente, una capa de tinta terciaria puede rodear los recubrimientos primario y secundario.

30 **[0152]** Como se discutió previamente, la combinación de (i) un sistema de revestimiento según la presente invención con (ii) una fibra de vidrio que tiene un perfil de índice de refracción que en sí mismo proporciona resistencia a curvatura (por ejemplo, baja sensibilidad macrocurvatura) se ha encontrado que proporciona superiores reducciones inesperadas en la sensibilidad microcurvatura. De hecho, las fibras de vidrio insensibles a curvatura son especialmente adecuadas para usarse con el sistema de revestimiento de la presente invención (por ejemplo, sistema de recubrimiento de marca ColorLockXS de Draka Comteq).

35 **[0153]** La fibra óptica presente puede ser desplegada en diversas estructuras, tales como las estructuras de ejemplo descritas a continuación.

40 **[0154]** Por ejemplo, una o más de las presentes fibras ópticas pueden encerrarse dentro de un tubo de protección. Por ejemplo, fibra óptica puede ser desplegada ya sea en un tubo de protección de una sola fibra suelta o un tubo de protección suelta de fibras múltiples. Con respecto a lo último, un tubo de protección suelta de múltiples fibras ópticas, pueden estar agrupados en haces o trenzados dentro de un tubo de protección u otra estructura. A este respecto, dentro de un tubo de protección suelta de fibras múltiples, sub-haces de fibras pueden separarse con aglutinadores (por ejemplo, cada sub-haz de fibra está envuelto en un aglutinador). Por otra parte, el entubado de salida en abanico se puede instalar en la terminación de dicho tubo de protección suelta para terminar directamente fibras ópticas sueltas protegidas con conectores instalados en la instalación.

45 **[0155]** En otras realizaciones, el tubo de protección puede rodear ajustadamente el revestimiento de fibra óptica más externo (es decir, fibra protegida ajustada) o de otro modo rodeado el revestimiento de fibra óptica más externo o capa de tinta para proporcionar una holgura radial ejemplar de entre aproximadamente 50 y 100 micras (es decir, una fibra protegida semi-ajustada).

50 **[0156]** Con respecto a la primera fibra protegida ajustada, la protección puede estar formada mediante el revestimiento de la fibra óptica con una composición endurecible (por ejemplo, un material endurecible por radiación UV) o de un material termoplástico. El diámetro exterior de tubos de protección ajustada, independientemente de si dicho tubo de protección esté formado de un material endurecible o no endurecible, es típicamente menor de aproximadamente 1.000 micras (por ejemplo, cualquier valor de aproximadamente 500 micras a 900 micras).

55 **[0157]** Con respecto a la fibra protegida semi-ajustada última, entre la fibra óptica y el tubo de protección puede incluirse un lubricante (por ejemplo, para proporcionar una capa de deslizante).

60 **[0158]** Como será reconocido por los expertos en la técnica, un tubo de protección ejemplar que encierra fibras ópticas como se describe en este documento puede estar formado de poliolefinas (por ejemplo, polietileno o polipropileno), incluyendo poliolefinas fluoradas, poliésteres (por ejemplo, tereftalato de polibutileno), poliamidas (por ejemplo, nailon), así como otros materiales poliméricos y mezclas. En general, un tubo de protección puede estar formado por una o más capas. Las capas pueden ser homogéneas o incluir mezclas o combinaciones de diversos materiales dentro de cada capa.

65 **[0159]** En este contexto, el tubo de protección se puede extrudir (por ejemplo, un material polimérico extruido) o pultrusionado (por ejemplo, un plástico reforzado con fibra pultrusionada). A modo de ejemplo, el tubo de protección

puede incluir un material para proporcionar una resistencia química y a alta temperatura (por ejemplo, un material aromático o material de polisulfona).

[0160] Aunque los tubos de protección tienen típicamente una sección transversal circular, alternativamente dichos tubos de protección, pueden tener una forma irregular o no circular (por ejemplo, una sección transversal ovalada o trapezoidal).

[0161] Alternativamente, una o más de las presentes fibras ópticas pueden simplemente estar rodeadas por una funda protectora externa o encapsuladas dentro de un tubo de metal sellado. Para toda estructura, no es necesariamente requerido tubo de protección intermedia alguno.

[0162] Fibras ópticas múltiples como se describen aquí pueden emparejarse, encapsularse, y/o unirse por sus bordes para formar una cinta de fibra óptica. Las cintas de fibra óptica pueden dividirse en subunidades (por ejemplo, una cinta de doce fibras puede dividirse en subunidades de seis fibras). Además, una pluralidad de tales cintas de fibra óptica puede ser agregada para formar una pila de cinta, que puede tener varios tamaños y formas.

[0163] Por ejemplo, es posible formar una pila de cintas rectangular o una pila de cintas en la que las cintas de fibra de más arriba y de más abajo tengan menos fibras ópticas que las situadas hacia el centro de la pila. Esta construcción puede ser útil para aumentar la densidad de elementos ópticos (por ejemplo, fibras ópticas) dentro del tubo de protección y/o cable.

[0164] En general, es deseable aumentar el llenado de elementos de transmisión en tubos de protección o cables, ello sujeto a otras restricciones (por ejemplo, atenuación de cable o de mitad de tramo). Los elementos ópticos en sí mismos pueden ser diseñados para una mayor densidad de empaquetado. Por ejemplo, la fibra óptica puede poseer propiedades modificadas, tales como perfil de índice de refracción, o dimensiones de núcleo o revestimiento mejorados, o espesor y/o módulo de revestimiento primario, para mejorar características de microcurvatura y macrocurvatura.

[0165] A modo de ejemplo, una pila de cinta rectangular puede estar formada con o sin una torsión central (es decir, una "torsión primaria"). Los expertos en la técnica apreciarán que una pila de cinta se fabrica típicamente con torsión rotacional para permitir que el tubo o cable se doble sin poner a una tensión mecánica excesiva sobre las fibras ópticas durante el bobinado, instalación y uso. En una variación estructural, se puede formar, además, una pila de cinta rectangular torsionada (o sin torsión) con una configuración helicoidal (por ejemplo, una hélice) o una configuración en forma de onda (por ejemplo, una senoide). En otras palabras, la pila de cinta puede poseer deformaciones regulares "secundarias".

[0166] Como será reconocido para aquellos con experiencia ordinaria en la técnica, tales cintas de fibra óptica pueden estar posicionadas dentro de un tubo de protección o de otra estructura circundante, tal como un cable sin tubo de protección. Con sujeción a ciertas restricciones (por ejemplo, la atenuación) es deseable aumentar la densidad de elementos tales como fibras ópticas o cintas de fibra óptica dentro de tubos de protección y/o cables de fibra óptica.

[0167] Una pluralidad de tubos de protección conteniendo fibras ópticas (por ejemplo, fibras sueltas o encintadas) puede situarse externamente adyacente y trenzada alrededor de un elemento refuerzo central. Este trenzado se puede realizar en una dirección, helicoidalmente, conocido como trenzado en "S" o en "Z" o trenzado de hebra oscilante inversa, conocido como trenzado en "SZ". El trenzado alrededor del miembro central de refuerzo reduce la tensión de la fibra óptica cuando se produce la tensión en el cable durante la instalación y uso.

[0168] Los expertos en la técnica entenderán el beneficio de minimizar la fatiga de la fibra tanto para esfuerzo de cable a tracción como para esfuerzo de cable a compresión longitudinal durante las condiciones de instalación o de funcionamiento.

[0169] Con respecto al esfuerzo de cable a tracción, que puede ocurrir durante la instalación, el cable se alargará mientras que las fibras ópticas pueden desplazarse más próximas al eje neutro del cable para reducir, si no eliminar, el esfuerzo que está siendo transmitido a las fibras ópticas. Con respecto al esfuerzo de compresión longitudinal, que puede ocurrir a bajas temperaturas de funcionamiento debido a la contracción de los componentes del cable, las fibras ópticas se desplazarán alejándose del eje neutro del cable para reducir, si no eliminar, el esfuerzo de compresión que está siendo transmitido a las fibras ópticas.

[0170] En una variación, dos o más capas sustancialmente concéntricas de tubos de protección pueden colocarse alrededor de un miembro central de refuerzo. En una variante adicional, múltiples elementos de trenzado (por ejemplo, múltiples tubos de protección trenzados alrededor de un miembro de refuerzo), pueden ser ellos mismos trenzados entre sí o alrededor de un miembro de refuerzo central primario.

[0171] Alternativamente, una pluralidad de tubos de protección conteniendo fibras ópticas (por ejemplo, fibras sueltas o encintadas) puede ser simplemente colocadas externamente adyacentes al miembro de refuerzo central (es decir, los tubos de protección están trenzados o dispuestos intencionalmente alrededor del miembro de refuerzo central en una manera particular y corren sustancialmente paralelos al miembro de refuerzo central).

[0172] Aún alternativamente, las presentes fibras ópticas pueden situarse dentro de un tubo de protección central (es decir, el cable de tubo de protección central tiene un tubo de protección central en lugar de un miembro de refuerzo central). Un cable tubo de protección central tal puede posicionar elementos de refuerzo en otros lugares. Por ejemplo, miembros de refuerzo metálicos o no metálicos (por ejemplo, GRP) pueden estar situados dentro de la funda del cable en sí, y/o una o más capas de hilos de alta resistencia (por ejemplo, hilos de aramida o no de aramida) puede colocarse paralelos a o envueltos (por ejemplo, contra-helicoidalmente) alrededor del tubo de protección central (es decir, dentro del espacio interior del cable). Del mismo modo, los miembros de refuerzo pueden ser incluidos dentro de la carcasa del tubo de protección.

[0173] En otras formas de realización, las fibras ópticas pueden colocarse dentro de un cable de núcleo ranurado. En un cable de núcleo ranurado, las fibras ópticas, individualmente o como una cinta de fibras, pueden colocarse

dentro de ranuras helicoidales (es decir, canales) conformadas previamente en la superficie de un miembro de refuerzo central, formando de ese modo una unidad de núcleo ranurado. La unidad de núcleo ranurado puede estar encerrada por un tubo de protección. Una o más de tales unidades centrales ranuradas pueden colocarse dentro de un cable de núcleo ranurado. Por ejemplo, una pluralidad de unidades de núcleo ranurada puede ser helicoidalmente trenzada alrededor de un miembro central de refuerzo.

[0174] Alternativamente, las fibras ópticas también pueden estar trenzadas en un diseño de cable maxi-tubo, con lo cual las fibras ópticas están trenzadas sobre sí mismas dentro de un tubo de protección suelto de fibra múltiple amplia en lugar de alrededor de un miembro central de refuerzo. En otras palabras, el tubo grande de protección suelto de fibra múltiple se coloca centralmente dentro del cable maxi-tubo. Por ejemplo, tales cables maxi-tubo pueden ser desplegados en cables de tierra ópticos (OPGW).

[0175] En otra realización de cableado, tubos de protección múltiple pueden estar trenzados alrededor de sí mismos sin la presencia de un miembro central. Estos tubos de protección trenzados pueden estar rodeados por un tubo protector. El tubo protector puede servir como carcasa exterior del cable de fibra óptica o puede estar rodeado además por una funda exterior. El tubo protector puede rodear estrecha o sueltamente los tubos de protección trenzados.

[0176] Como será reconocido por los que tienen experiencia en la técnica, dentro de un núcleo de cable pueden estar incluidos elementos adicionales. Por ejemplo, cables de cobre u otros, elementos activos de transmisión pueden estar trenzados o empaquetados de otra manera incluidos dentro de la funda de cable. Elementos pasivos también pueden colocarse dentro del núcleo de cable, tal como entre las paredes interiores de los tubos de protección y las fibras ópticas encerradas. De manera alternativa y a modo de ejemplo, elementos pasivos pueden ser colocados fuera de los tubos de protección entre las respectivas paredes exteriores de los tubos de protección y la pared interior de la camisa de cable, o, dentro del espacio interior de un cable de sin tubo de protección.

[0177] Los tubos de protección (o los cables sin tubo de protección) también puede contener una composición tixotrópica (por ejemplo, grasa o geles grasientos) entre las fibras ópticas y las paredes interiores de los tubos de protección. Por ejemplo, llenando el espacio libre interior de un tubo de protección con grasa de relleno a base de petróleo para barrera de agua como ayuda a bloquear la penetración de agua. Además, la grasa de relleno tixotrópica acopla mecánicamente (es decir, viscosamente) las fibras ópticas al tubo de protección circundante.

[0178] Estas grasas de relleno tixotrópicas son relativamente pesadas y enmarañadas, obstaculizando de esta manera las operaciones de conexión y empalme. Así, las presentes fibras ópticas pueden desplegarse en estructuras de cable seco (es decir, tubos de protección sin grasa).

[0179] Como se entenderá por los que tienen experiencia ordinaria en la técnica, un cable encerrando fibras ópticas como se describe aquí puede tener una funda formada a partir de diversos materiales con varios diseños. Las fundas de cable pueden formarse a partir de materiales poliméricos tales como, por ejemplo, polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo (PVC), poliamidas (por ejemplo, nailon), poliéster (por ejemplo, PBT), plásticos fluorados (por ejemplo, propileno de perfluoretileno, polivinilo fluoruro, o polo-vinilideno difluoruro), y acetato de vinil etileno. Los materiales de tubo de protección y/o funda también pueden contener otros aditivos, tales como agentes de nucleación, retardantes de llama, retardantes de humo, antioxidantes, absorbentes de UV, y/o plastificantes.

[0180] El enfundado de cable puede ser una camisa simple formada a partir de un material dieléctrico (por ejemplo, polímeros no conductores), con o sin componentes estructurales complementarios que puedan ser utilizados para mejorar la protección (por ejemplo, contra roedores) y la resistencia proporcionada por la funda del cable. Por ejemplo, una o más capas de cinta metálica (por ejemplo, acero) junto con una o más camisas dieléctricas pueden formar el revestimiento de cable. Varillas de refuerzo de fibra de vidrio o metálicas (por ejemplo, GRP) pueden ser también incorporadas en la funda. Además, de aramida, fibra de vidrio, o hilos de poliéster pueden emplearse bajo las diversas materiales de envoltura (por ejemplo, entre el revestimiento del cable y el núcleo del cable), y/o cordones de desgarrar pueden colocarse, por ejemplo, dentro de la funda del cable.

[0181] Similarmente a los tubos de protección, las fundas de cable de fibra óptica tienen típicamente una sección transversal circular, pero alternativamente las fundas de cable pueden tener una forma irregular o no circular (por ejemplo, sección transversal ovalada, trapezoidal, o plana).

[0182] A modo de ejemplo, la fibra óptica presente puede incorporarse a cables de acometida de una sola fibra, tales como los empleados para aplicaciones de Unidad de Vivienda Múltiple (MDU). En tales despliegues, el encamisado de cable debe exhibir resistencia a aplastado, resistencia a abrasión, resistencia a perforación, estabilidad térmica, y resistencia al fuego como se requiere por los códigos de construcción. Un material ejemplar para tales camisas de cable es térmicamente estable, poliuretano retardante de llama (PUR), que protege mecánicamente las fibras ópticas siendo aún suficientemente flexible para facilitar instalaciones MDU fáciles. Alternativamente, puede usarse una camisa de cloruro de polivinilo o poliolefina retardante de llama.

[0183] En general, y como será reconocido por los que tienen experiencia ordinaria en la técnica, un miembro de refuerzo está típicamente previsto en forma de varilla o alambres trenzados/enrollados helicoidalmente o fibras, aunque otras configuraciones estarán dentro del conocimiento de aquellos con experiencia ordinaria en la técnica.

[0184] Cables de fibra óptica conteniendo fibras ópticas como las descritas pueden desplegarse diversamente, incluso como cables de acometida, cables de distribución; cables de alimentación, cables troncales y líneas derivadas, cada uno de los cuales pueden tener distintas necesidades operativas (por ejemplo, rango de temperatura, resistencia a compresión, resistencia a radiación UV, y radio de curvatura mínimo).

[0185] Como se ha señalado, tubos de protección que contienen fibras ópticas (por ejemplo, fibras sueltas o encintadas) pueden ser trenzados (por ejemplo, alrededor de un miembro de refuerzo central). En tales configuraciones, una funda externa de protección de cable de fibra óptica puede tener una superficie con textura que varía de manera periódica longitudinalmente a lo largo del cable, de manera que replica la forma trenzada de los

tubos de protección subyacentes. El perfil de la textura de la funda externa de protección puede mejorar el comportamiento a soplado del cable de fibra óptica. La superficie con textura reduce la superficie de contacto entre el cable y el conducto o micro-conducto y aumenta la fricción entre el medio de soplado (por ejemplo, aire) y el cable. La funda externa de protección puede estar hecha de un material de bajo coeficiente de fricción, lo que puede facilitar la instalación por soplado. Además, la funda externa de protección puede estar provista de un lubricante para facilitar aún más la instalación por soplado.

[0186] En general, para lograr un comportamiento a soplado satisfactorio de larga distancia (por ejemplo, entre aproximadamente 3,000 a 5,000 pies o más), el diámetro exterior del cable de un cable de fibra óptica debe ser no mayor del 70 al 80 por ciento, aproximadamente, del diámetro interior del conducto o micro-conducto.

[0187] El aire comprimido también se puede utilizar para instalar fibras ópticas en un sistema de fibra soplada por aire. En un sistema de fibra soplada por aire, una red de cables o micro-conductos sin relleno se instalan antes de la instalación de las fibras ópticas. Las fibras ópticas pueden posteriormente soplarse en los cables instalados como resulte necesario para soportar los diversos requerimientos de red.

[0188] Además, los cables de fibra óptica pueden ser enterrados directamente en el suelo o, como un cable aéreo estar suspendidos de un poste o torre. Un cable aéreo puede ser autoportante, o estar asegurado o atado a un soporte (por ejemplo, cable portante u otro tipo de cable). Cables de fibra óptica aérea de ejemplo incluyen cables de guarda aéreos (OPGW), cables autoportantes totalmente dieléctricos (ADSS), cables suspendidos totalmente dieléctrico (AD-Lash), y cables en forma de ocho, cada uno de los cuales es bien conocidos por los que tienen experiencia ordinaria en la técnica. (Cables en forma de ocho y otros diseños pueden ser directamente enterrados o instalados en conductos, y pueden incluir opcionalmente un elemento de tono, tal como un alambre metálico, de modo que pueden encontrarse con un detector de metal.

[0189] Además, aunque las fibras ópticas pueden estar protegidas además por una funda de cable exterior, la fibra óptica en sí misma puede reforzarse aún más para que dicha fibra óptica puede incluirse dentro de un cable multi-conexión, lo que permite el encaminado individual de las fibras ópticas individuales.

[0190] Para emplear con eficacia las actuales fibras ópticas en un sistema de transmisión, se requieren conexiones en varios puntos de la red. Las conexiones de fibra óptica se hacen típicamente por empalme por fusión, el empalme mecánico o conectores mecánicos.

[0191] Los extremos de acoplamiento de los conectores se pueden instalar a los extremos de la fibra ya sea en el campo (por ejemplo, en la ubicación de red) o en una fábrica antes de la instalación en la red. Los extremos de los conectores se acoplan en el campo con el fin de conectar dichas fibras entre sí o conectar las fibras a los componentes pasivos o activos. Por ejemplo, ciertos montajes de cable de fibra óptica (por ejemplo, montajes de bifurcación) se pueden separar y conducir las fibras ópticas individuales de un cable de fibra óptica múltiple a los conectores de manera protectora.

[0192] El despliegue de tales cables de fibra óptica puede incluir equipo suplementario, que por su parte puede emplear la fibra óptica presente como se describió anteriormente. Por ejemplo, un amplificador puede ser incluido para mejorar señales ópticas. Módulos de compensación de dispersión pueden ser instalados para reducir los efectos de la dispersión cromática y la dispersión de modo de polarización. Se pueden incluir así mismo cajas de empalme, bases y bastidores de distribución, que pueden estar protegidos por un recinto. Los elementos adicionales incluyen, por ejemplo, interruptores de terminal remoto, unidades de red óptica, divisores ópticos, y conmutadores de centralita.

[0193] Un cable conteniendo las presentes fibras ópticas puede ser desplegado para su utilización en un sistema de comunicación (por ejemplo, conexión por red o telecomunicaciones). Un sistema de comunicación puede incluir arquitectura cable de fibra óptica tal como fibra-hasta-nodo (FTTN), fibra hasta-recinto de telecomunicaciones (FTTE), fibra-hasta-acera (FTTC), fibra-hasta-edificio (FTTB), y de fibra-hasta-hogar (FTTH), así como arquitectura metropolitana o de larga distancia. Además, un módulo óptico o una caja almacenamiento que incluye una carcasa puede recibir una porción enrollada de la fibra óptica descrita en este documento. A modo de ejemplo, la fibra óptica puede enrollarse con un radio de curvatura menor de aproximadamente 15 milímetros (por ejemplo, 10 milímetros o menos, tal como alrededor de 5 milímetros) en dichos módulo óptico o caja de almacenamiento.

[0194] Además, las fibras ópticas presentes se pueden usar en otras aplicaciones, incluyendo, sin limitación, aplicaciones de iluminación o sensores de fibra óptica (por ejemplo, alumbrado).

[0195] Los presentes fibras ópticas pueden tener "*Fiber Bragg Grating (rejilla de difracción Bragg de fibra)*" (FBG). Como será reconocido por los que tiene experiencia ordinaria en la técnica, FBG es una variación periódica o aperiódica del índice de refracción del núcleo y/o del revestimiento de una fibra óptica. Este variación del índice de refracción produce que en una gama de longitudes de onda (por ejemplo, un rango estrecho) se refleje en lugar de transmitirse, sucediendo el máximo de reflexión a la longitud de onda de Bragg.

[0196] Comúnmente en una fibra óptica se incorpora "*Fiber Bragg Grating*" mediante la exposición de dicha fibra óptica a una fuente intensa de luz ultravioleta (por ejemplo, un láser UV). A este respecto, los fotones UV pueden tener suficiente energía para romper los enlaces moleculares dentro de una fibra óptica, alterando la estructura de la fibra, lo que aumenta el índice de refracción de la fibra. Además, dopantes (por ejemplo, boro o germanio) y/o cargado de hidrógeno se pueden emplear para aumentar la foto-sensibilidad.

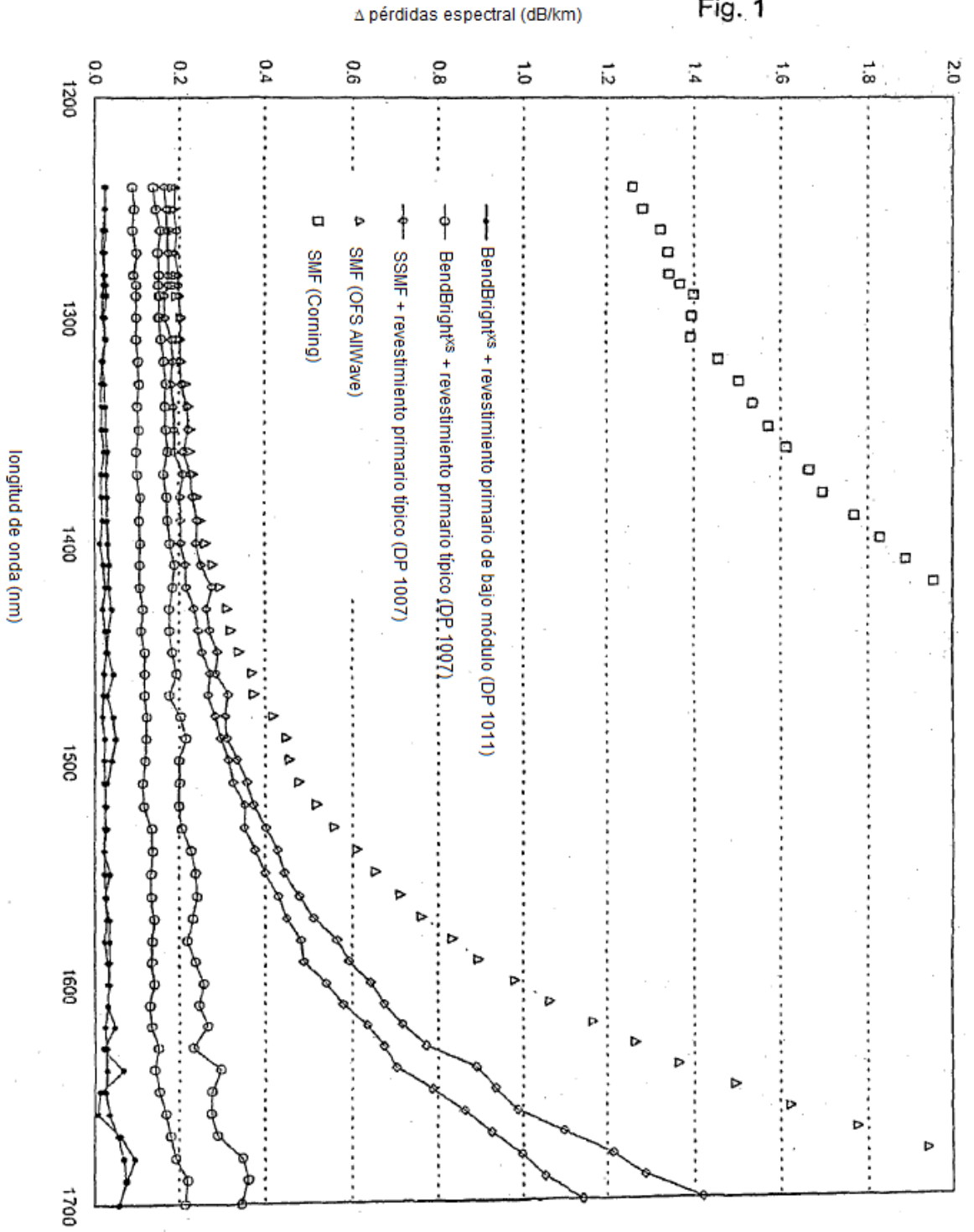
[0197] Con el fin de exponer una fibra de vidrio recubierta a la luz UV para la creación de FBG, el revestimiento puede ser eliminado. Alternativamente, se pueden emplear revestimientos que sean transparentes a las longitudes de onda UV en particular (por ejemplo, las longitudes de onda UV emitidas por un UV láser para incorporar FBG), haciendo así innecesario eliminar el revestimiento. Además, pueden emplearse silicona, poliimida, acrilato, o revestimientos PFCB, por ejemplo, para aplicaciones de alta temperatura.

- 5 **[0198]** Un patrón FBG particular puede ser creado mediante el empleo de (i) una fotomáscara colocada entre el haz de luz UV y la fibra óptica, (ii) interferencia entre múltiples haces de luz UV, que interfieren unos con otros de acuerdo con el patrón de FBG deseado (por ejemplo, un patrón uniforme, recortado o inclinado), o (iii) un haz de luz UV estrecho para creación de variaciones individuales. La estructura FBG puede tener, por ejemplo, un cambio de índice solo positivo uniforme, un cambio de índice tipo Gaussiano, un cambio de índice tipo cosenoidal, o un cambio de índice de desplazamiento de fase discreto. En una sola fibra óptica pueden combinarse múltiples patrones FBG.
- 10 **[0199]** Las fibras ópticas con FBG se pueden emplear en diversas aplicaciones de detección (por ejemplo, para detectar vibración, temperatura, presión, humedad, o movimiento). A este respecto, cambios en la fibra óptica (por ejemplo, un cambio en la temperatura) se traduce en un cambio en la longitud de onda de Bragg, que se mide mediante un sensor. Se puede utilizar FBG para identificar una óptica especial fibra (por ejemplo, si la fibra se rompe en pedazos).
- 15 **[0200]** “*Fiber Bragg Grating*” también puede utilizarse en diversos componentes de comunicación activos o pasivos (por ejemplo, filtros selectivos de longitud de onda, multiplexores, demultiplexores, interferómetros Mach-Zehnder, láseres de reflector de Bragg distribuidos, estabilizadores bomba/láser, y canales de supervisión).
- [0201]** En la descripción y/o figuras, se han descrito las realizaciones típicas de la invención. La presente invención no está limitada a tales ejemplos de realización. Las figuras son representaciones esquemáticas y por tanto no están necesariamente dibujadas a escala. A menos que se indique lo contrario, los términos específicos se han utilizado en un sentido genérico y descriptivo y no para fines de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Fibra óptica que tiene un sistema de recubrimiento que reduce las micro curvaturas inducidas por esfuerzo cumpliendo la fibra óptica la norma UIT-T G.657.A y/o la norma ITU-T G.657.B y que comprende:
5 una fibra de vidrio que tiene un diámetro de 125 micrómetros
un revestimiento primario endurecido que rodea dicha fibra de vidrio, comprendiendo dicho revestimiento primario endurecido entre el 40% y el 80% de una composición de acrilato de uretano poliéter endurecible por radiación UV, y que además comprende un fotoiniciador, uno o más oligómeros, y uno o más diluyentes de monómero, teniendo dicho revestimiento primario endurecido (i) un módulo *in situ* superior a 0,2 MPa e inferior a 0,65 MPa y (ii) una temperatura de transición vítrea de -50° C o menor, y un revestimiento secundario endurecido que rodea dicha capa
10 de revestimiento primario, en el que dicho revestimiento secundario define una capa de revestimiento secundario, caracterizado porque la fibra está asistida por zanja y definiendo dicho revestimiento primario una capa de revestimiento primario que tiene un diámetro exterior comprendido entre 135 y 175 micrómetros.
2. Fibra óptica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicho revestimiento primario endurecido primario posee un módulo *in situ* inferior a 0,5 MPa, preferiblemente menor de 0,4 MPa, aún más preferiblemente superior a 0,3 MPa.
15
3. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha capa de revestimiento primario tiene un diámetro exterior menor de 165 micrómetros, preferiblemente menor de 160 micrómetros, más preferiblemente menor de que 157,5 micrómetros, y aún más preferiblemente menor de 155 micrómetros.
20
4. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha capa de revestimiento primario tiene un diámetro exterior mayor de 140 micrómetros, preferiblemente mayor de 145 micrómetros, más preferiblemente mayor de 150 micrómetros, y aún más preferiblemente mayor de 152,5 micrómetros.
25
5. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha capa de revestimiento primario tiene un diámetro exterior de 160 micrómetros o menor, preferiblemente comprendido entre 152,5 y 157,5 micrómetros; y en la que dicha capa de revestimiento secundario tiene un diámetro exterior menor de 230 micrómetros, preferiblemente menor de 210 micrómetros, más preferiblemente comprendido entre 192 micrómetros y 202 micrómetros.
30
6. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente una capa de tinta, teniendo dicha fibra óptica un diámetro exterior de 210 micrómetros o menor, preferiblemente de 205 micrómetros o menor.
35
7. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el revestimiento secundario está pigmentado para código de color de la fibra óptica.
40
8. Cable o tubo de protección que contiene una o más fibras ópticas según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
9. Módulo o recinto óptico que comprende al menos una porción de una o más fibras ópticas de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
45
10. Instalación FTTx que comprende una o más fibras de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

Fig. 1



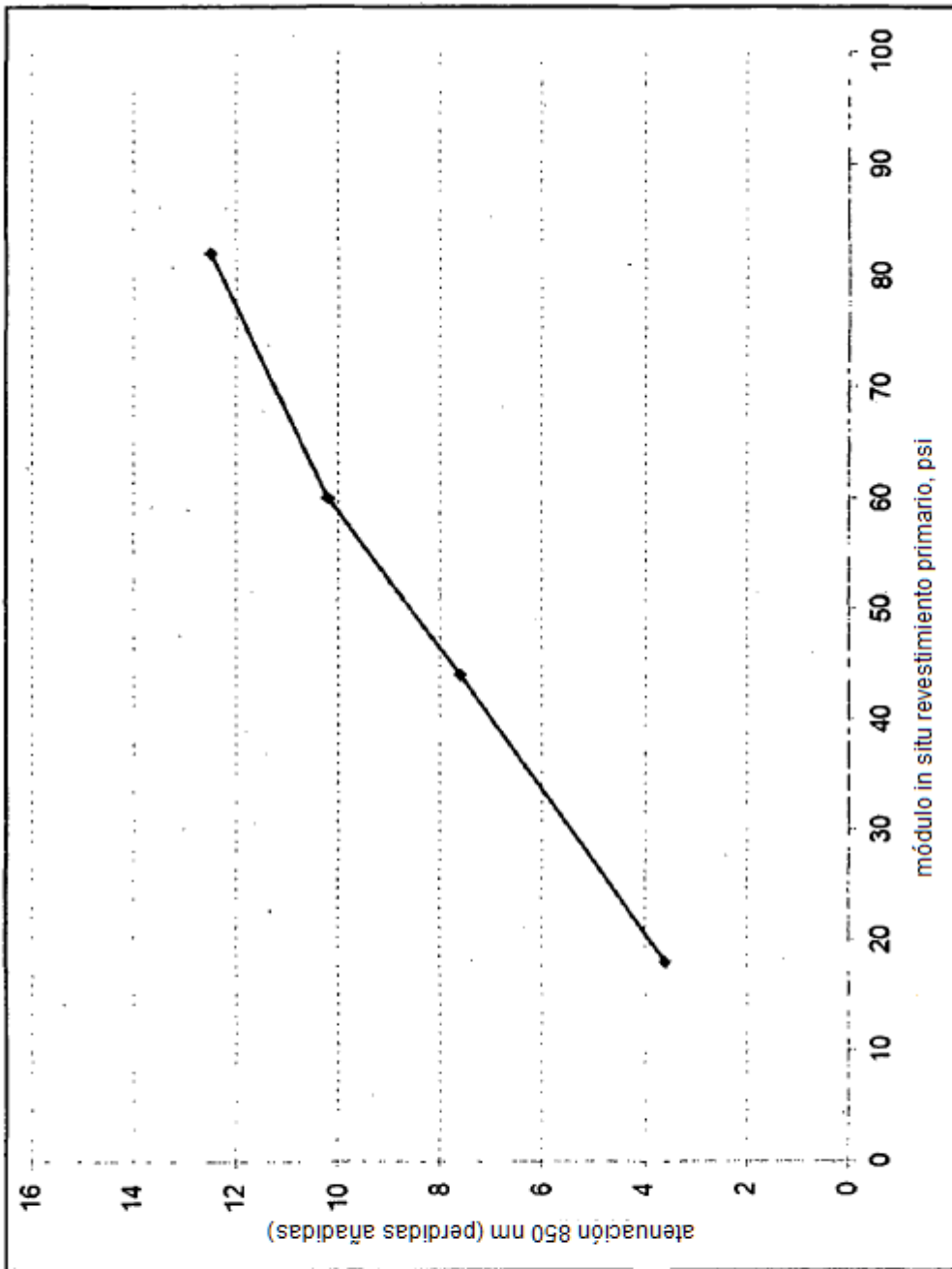


Fig. 2

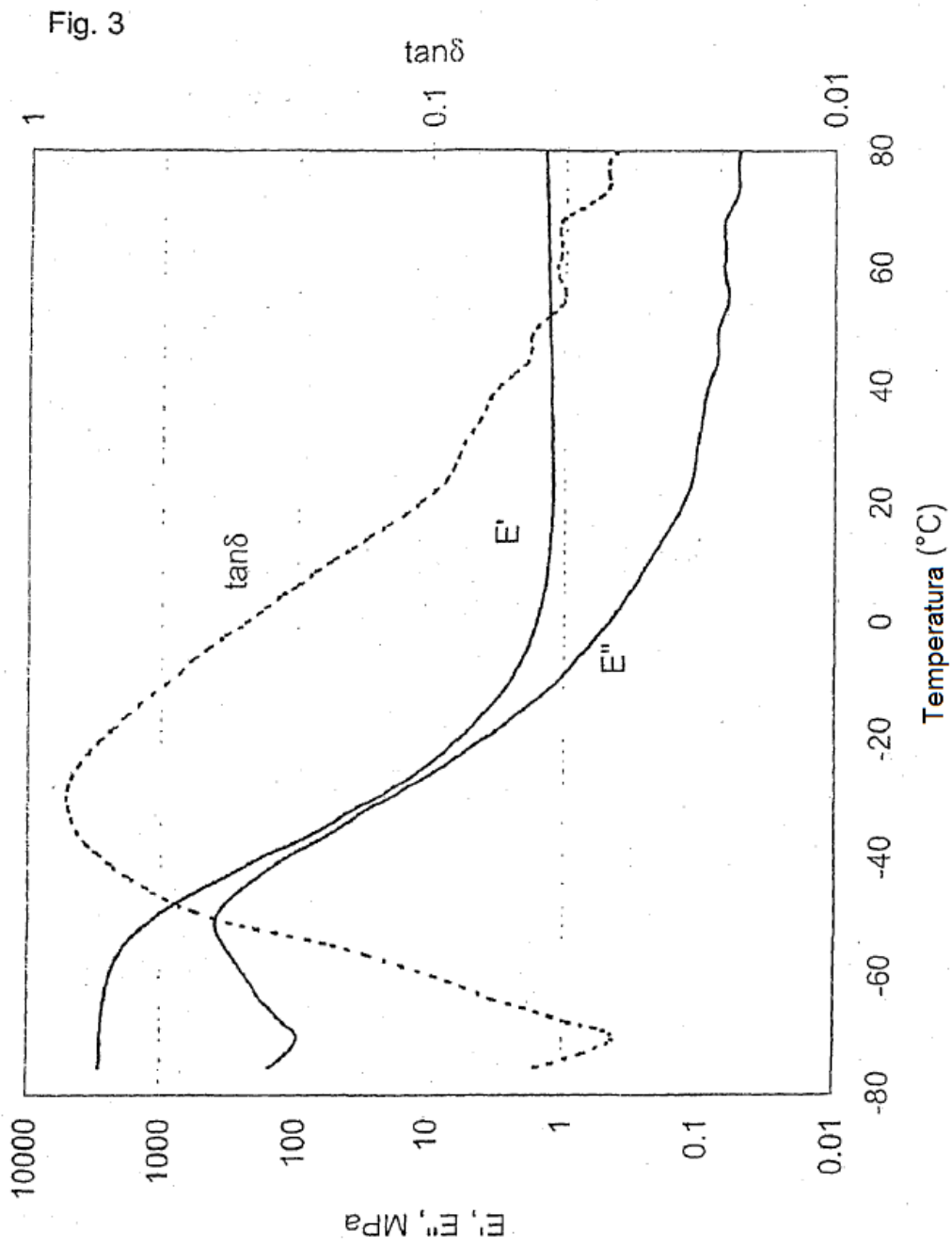


Fig. 4

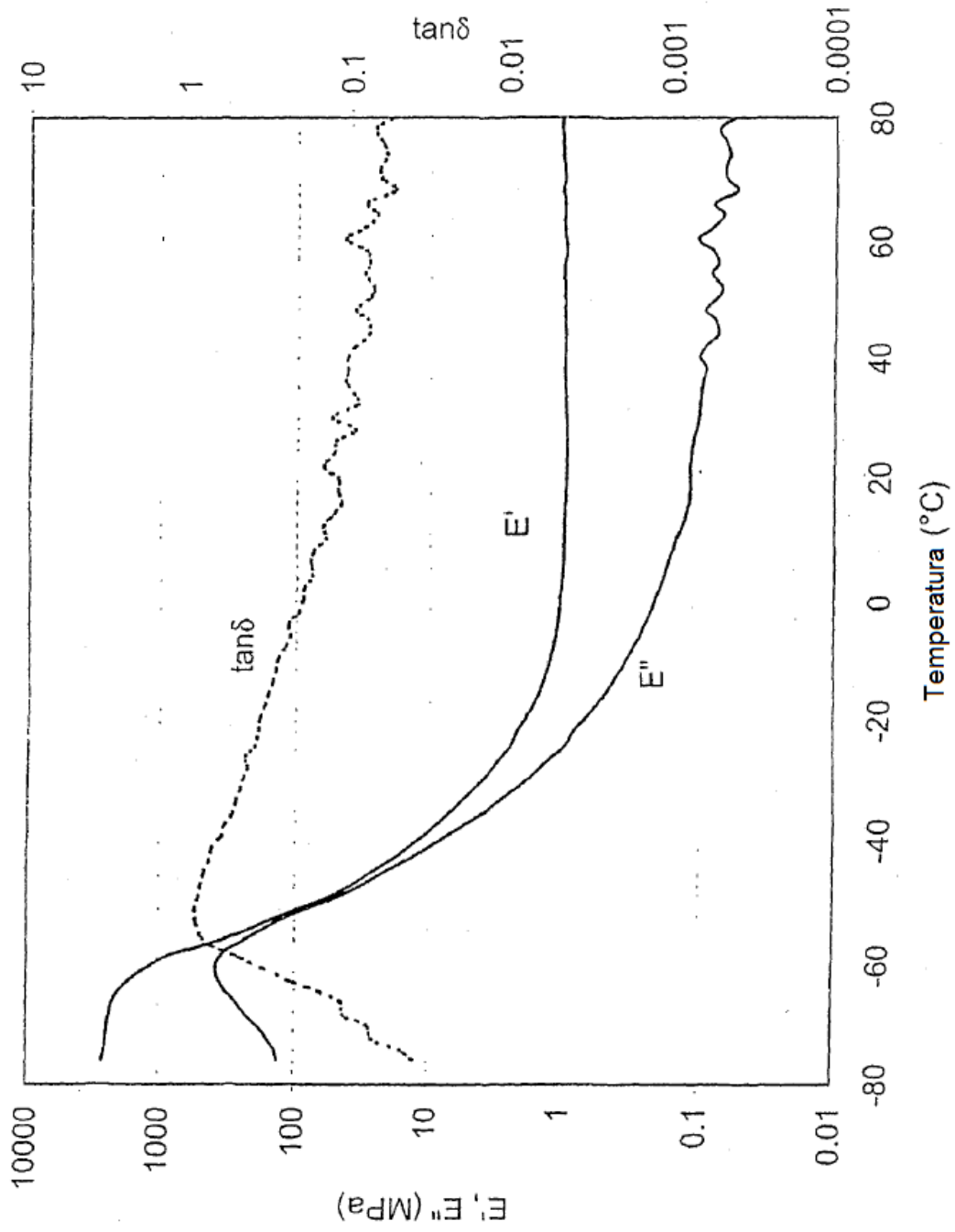


Fig. 5

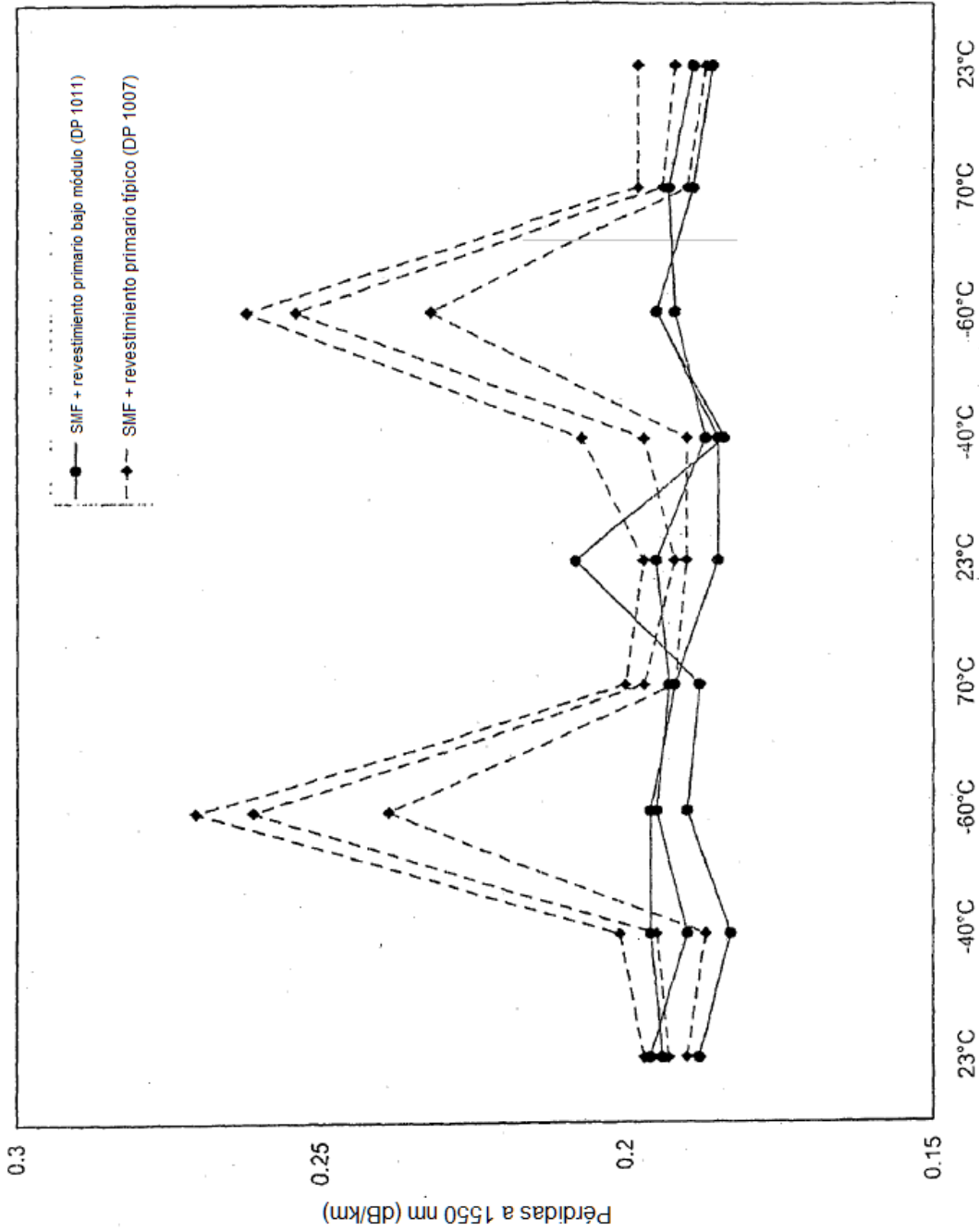


Fig. 6

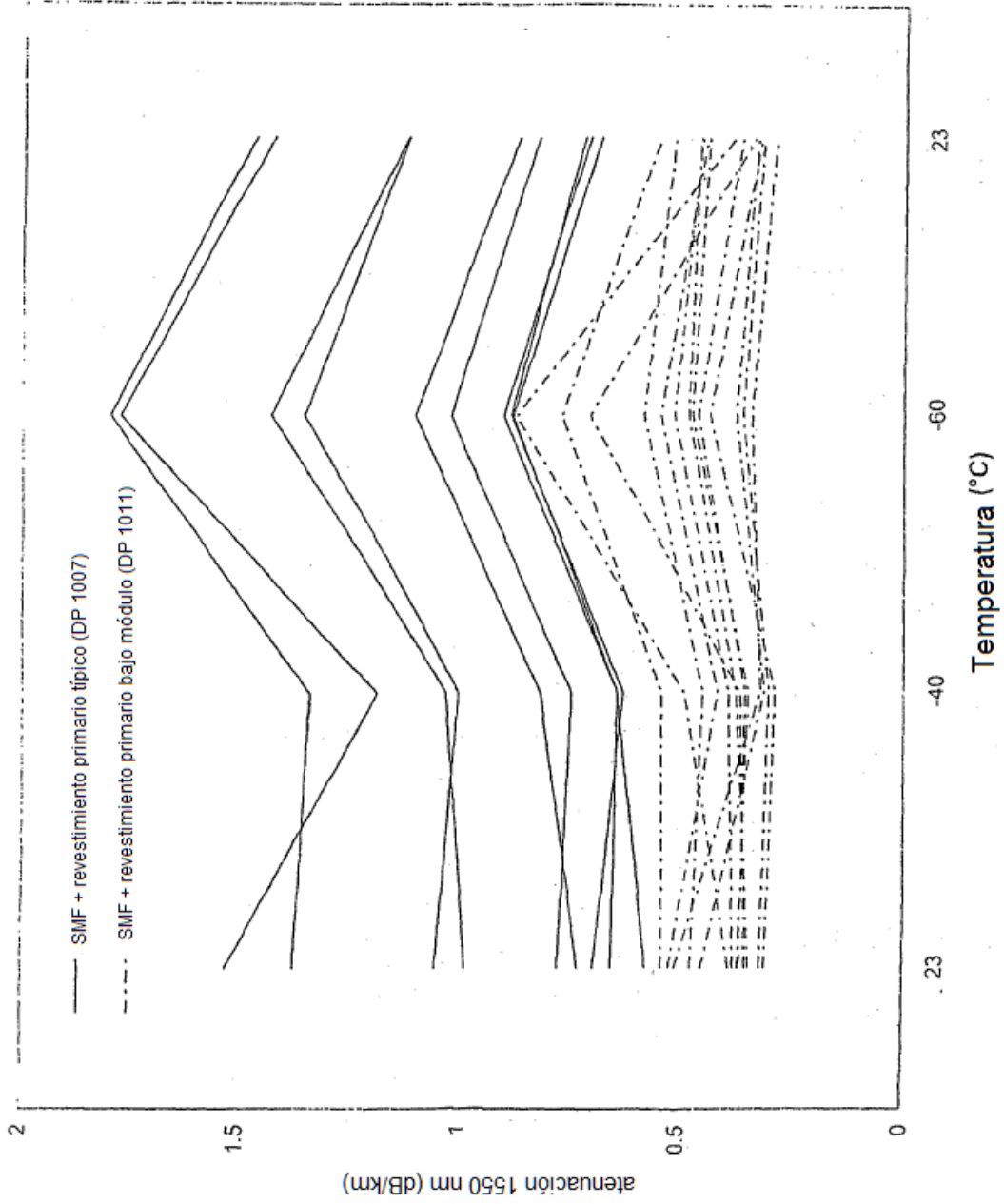


Fig. 7

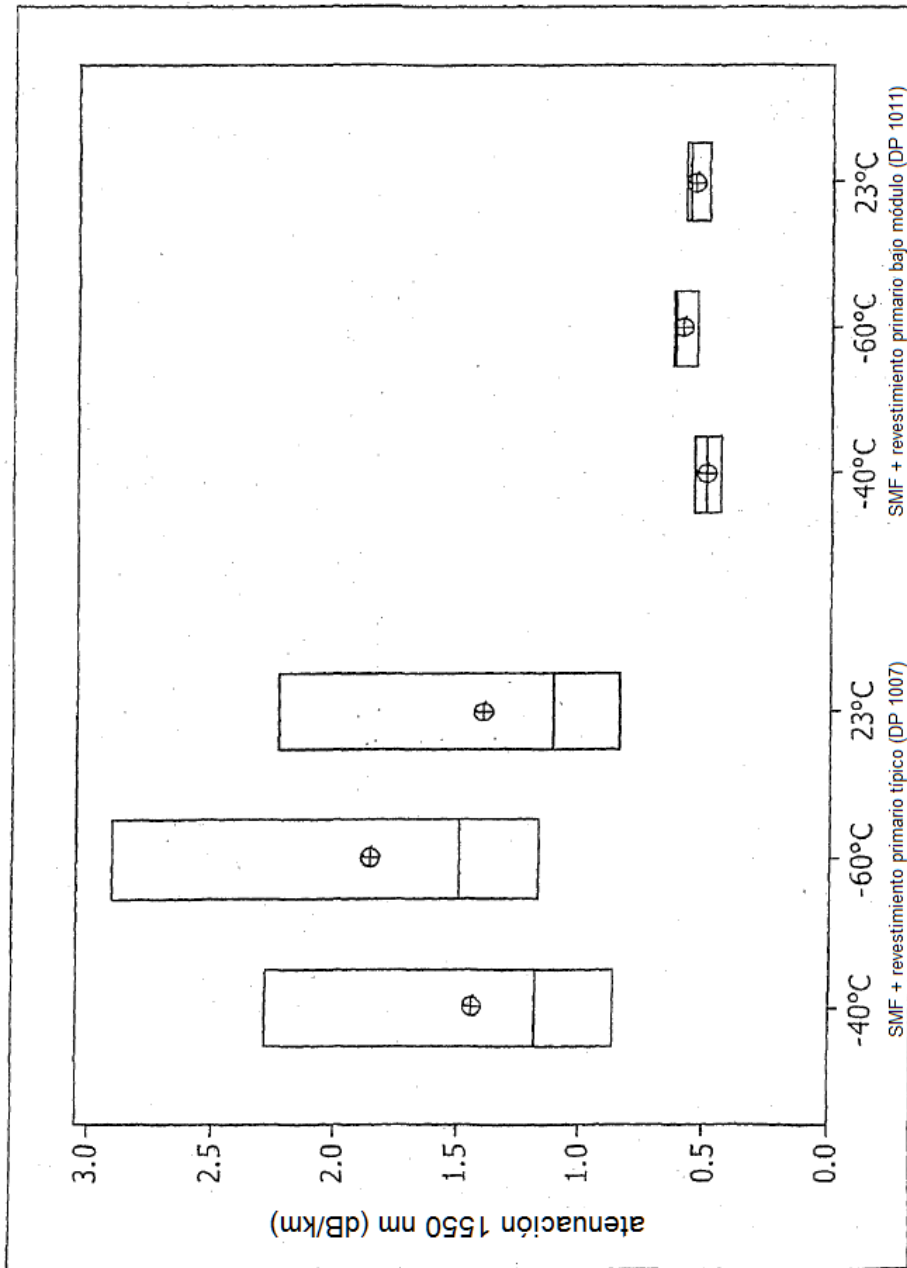


Fig. 8

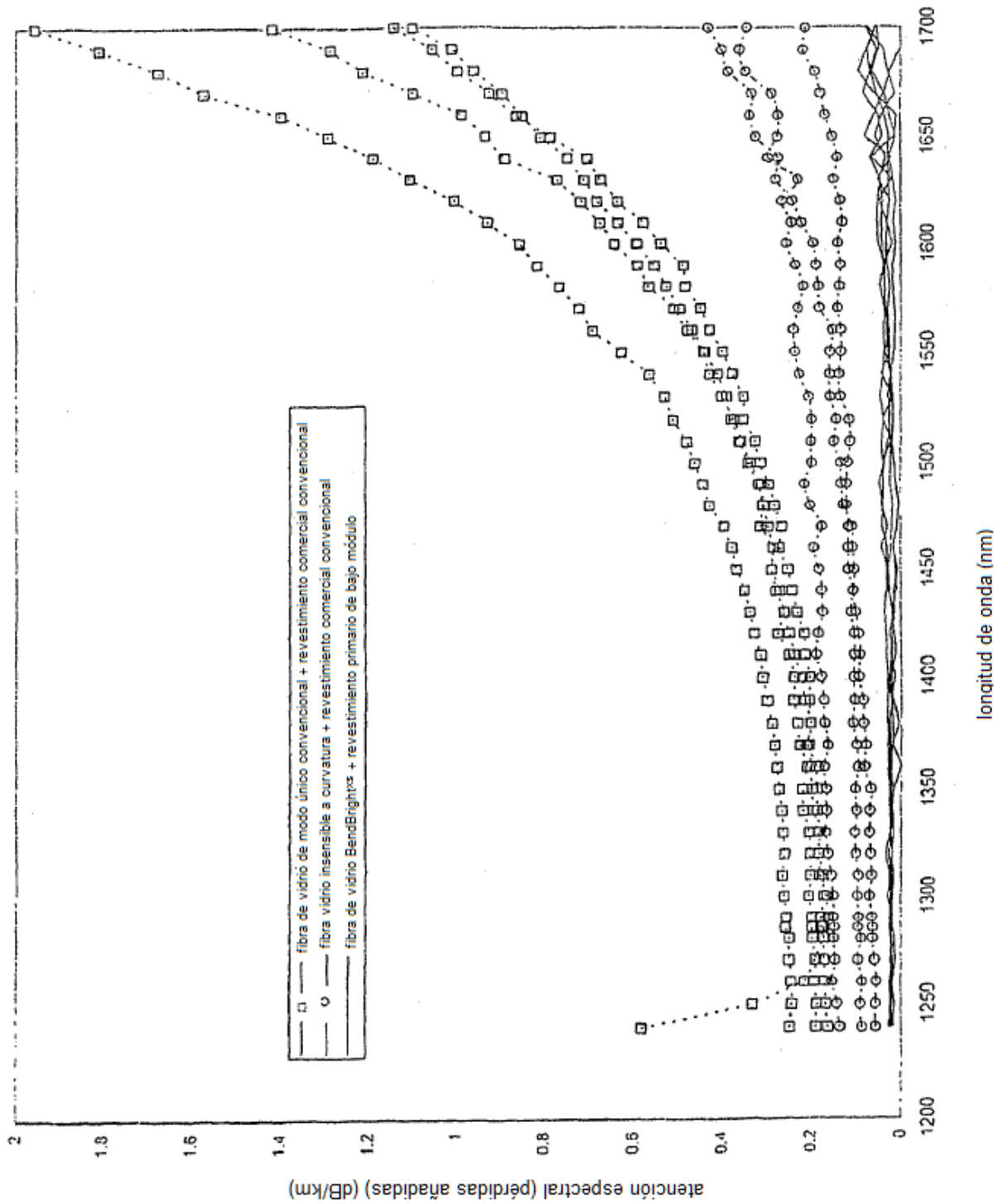


Fig. 9

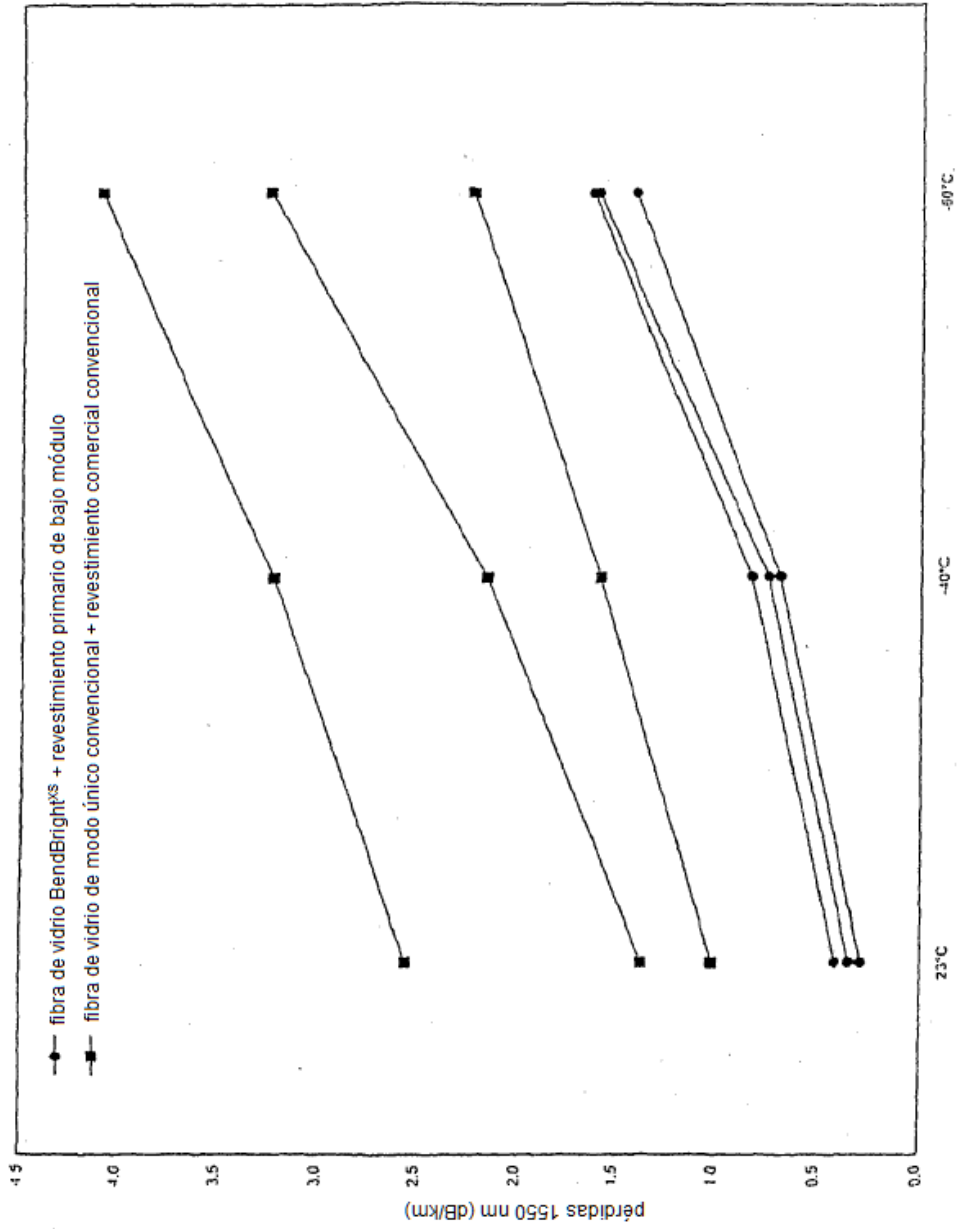


Fig. 10

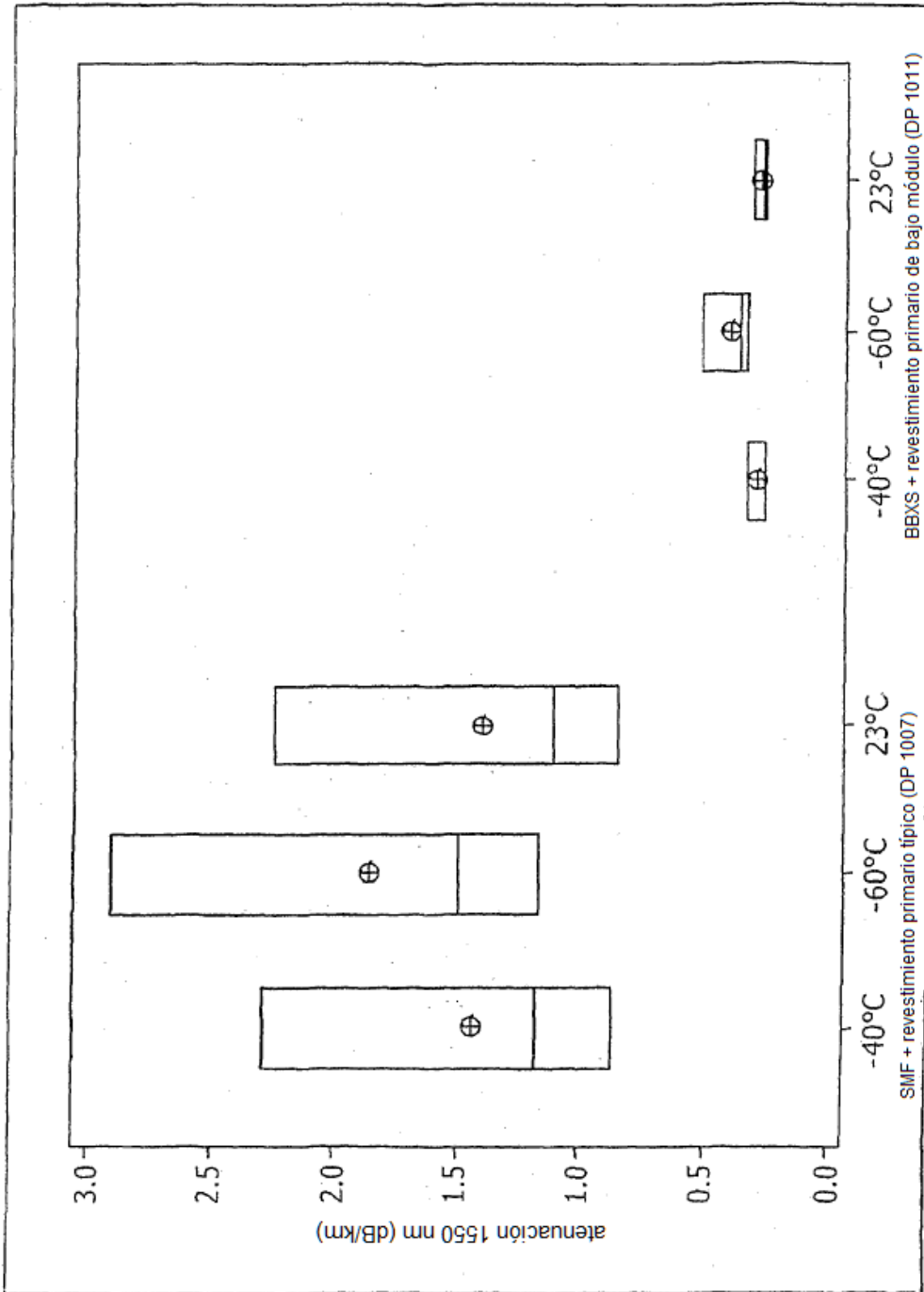


Fig. 11

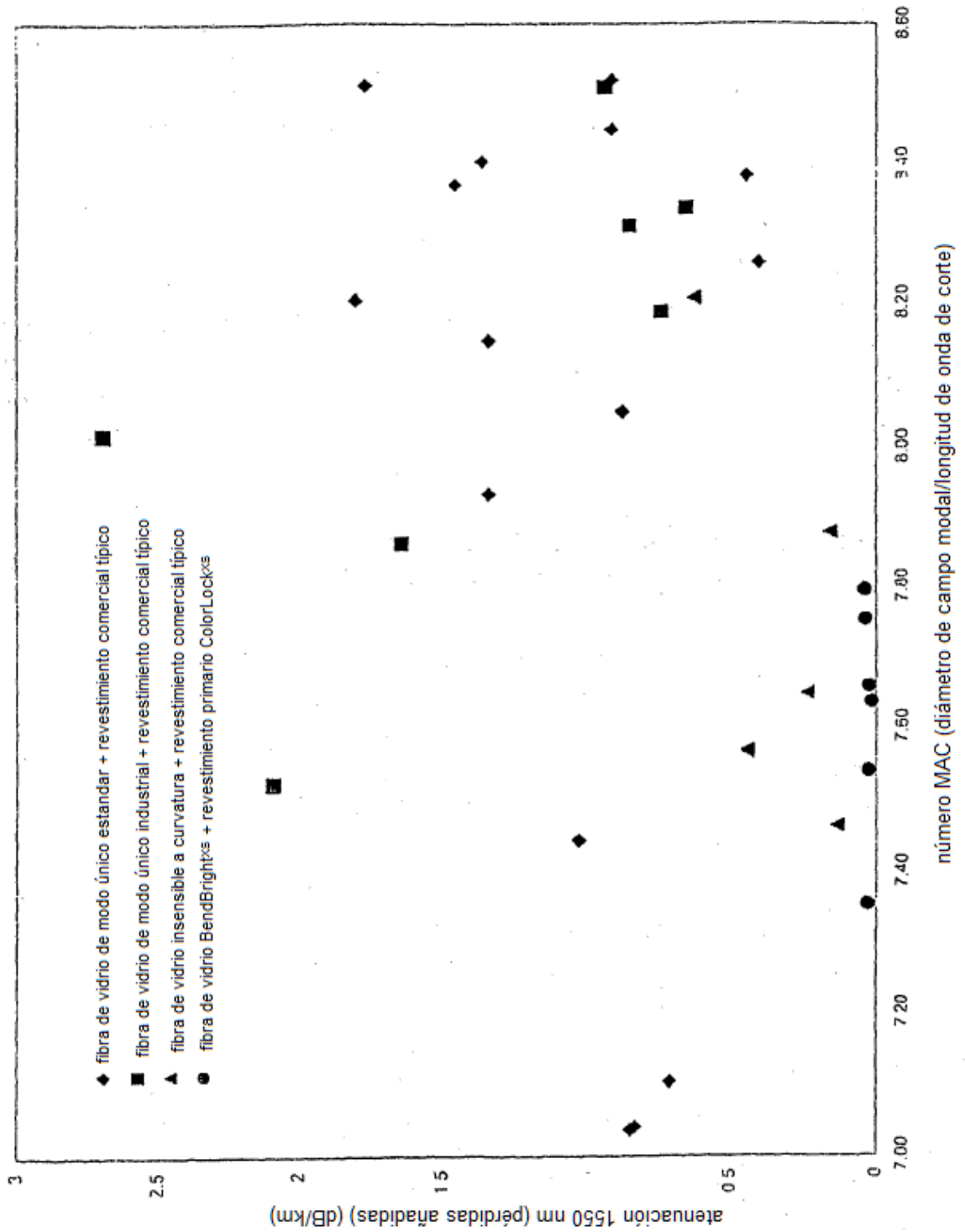
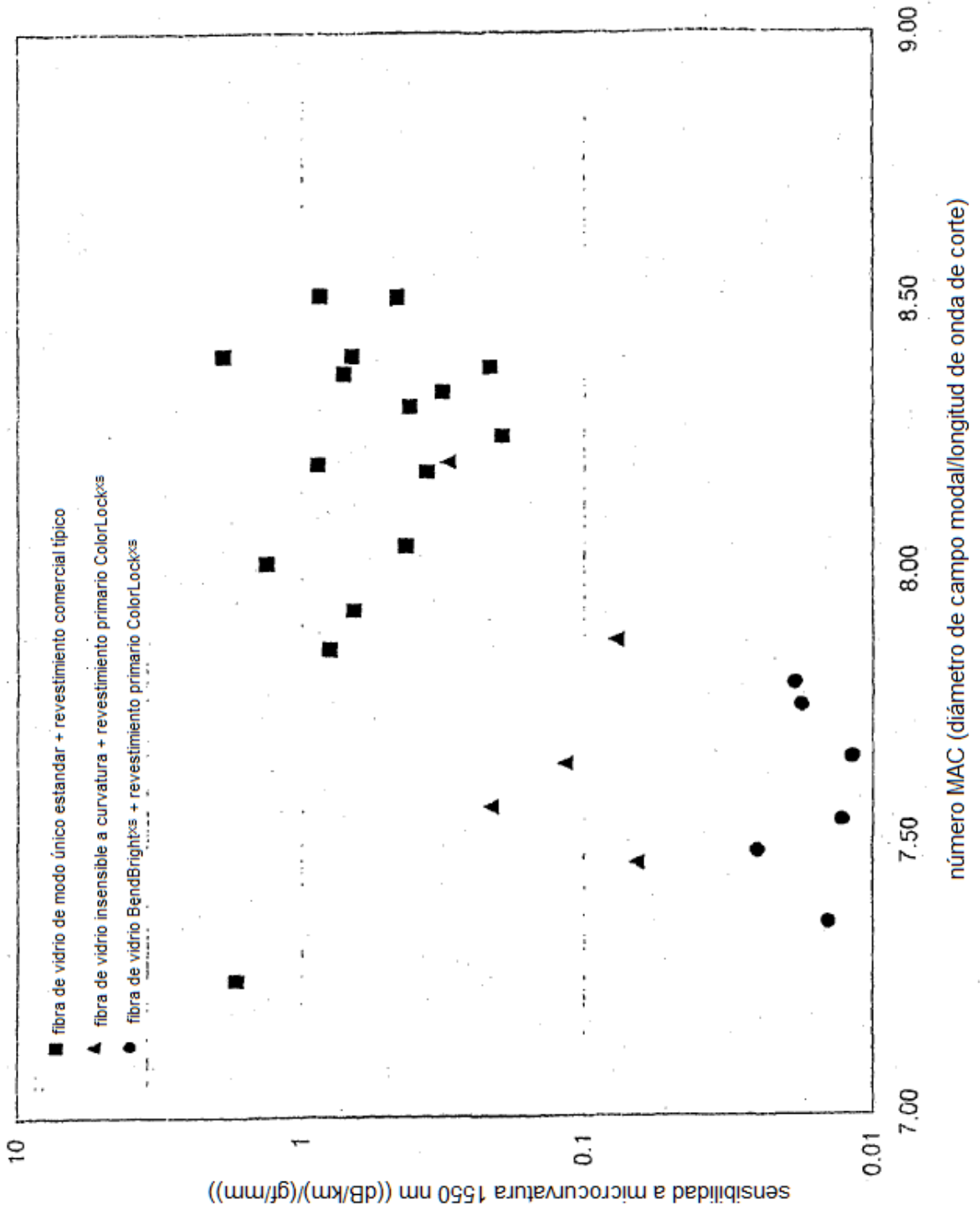


Fig. 12



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- US 7272289 B, Bickham [0006]
- US 2004013382 A, Van Eekelen [0006]
- US 7322122 B [0059]
- US 61248319 A [0137]
- US 20080056654 A1 [0138]

10