

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 735 999**

51 Int. Cl.:

G02B 6/44

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.12.2008 PCT/US2008/086062**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.06.2010 WO10068196**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2008 E 08876499 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 2359174**

54 Título: **Cable óptico con núcleo seco y tubos de protección secos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.12.2019

73 Titular/es:
**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)
Via Chiese, 6
20126 Milano, IT**

72 Inventor/es:
**WELLS, BEN;
SACH, JOHN;
HANCHARD, MARTIN y
DAVIDSON, GRANT**

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 735 999 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

Cable óptico con núcleo seco y tubos de protección secos

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a cables de comunicación de fibra óptica que comprenden tubos de protección que reciben holgadamente fibras ópticas o cintas de fibra óptica, y a un procedimiento para disminuir la migración de agua en dichos cables mientras se mejora el enlace de acoplamiento entre las fibras ópticas y los tubos de protección. La invención también se refiere a procedimientos para fabricar estos cables y tubos de protección.

Antecedentes

10 Los cables de fibra óptica (es decir, los cables ópticos) se usan comúnmente para la transferencia de datos y las comunicaciones en una variedad de aplicaciones de red. El cable de fibra óptica típico de "tubo holgado" contiene al menos un tubo de protección, que a su vez contiene al menos una fibra óptica. Los cables de un único tubo se llaman cables de tubo holgado "central", mientras que los cables con múltiples tubos de protección se llaman cables de tubos holgados "trenzados".

15 Con cualquier tipo de sistema de cable de fibra óptica, las capacidades de transmisión de datos pueden deteriorarse debido a la migración del agua. En particular, la migración de agua daña la integridad de los componentes del sistema a lo largo del tiempo, lo que lleva a señales de transmisión más débiles o a la rotura total de la fibra. Debido a las aplicaciones para cables de fibra óptica en entornos que pueden incluir agua, la industria de la fibra óptica hace hincapié en reducir los problemas de migración de agua para garantizar una funcionalidad adecuada y una vida útil más larga de los sistemas de cable de fibra óptica.

20 Los compuestos utilizados para bloquear la migración de agua dentro de un cable de fibra óptica generalmente se dividen en dos clasificaciones: (1) compuestos de "relleno" y (2) compuestos de "inundación". Los compuestos de relleno, discutidos en detalle en este documento, se colocan dentro del tubo de protección. En cambio, los compuestos de inundación bloquean la migración de agua fuera de los tubos de protección, por ejemplo entre los tubos de protección y las capas de recubrimiento exterior, incluidos los intersticios.

25 Como se describe en la patente de EE. UU. N° 7.006.740, los compuestos de relleno usados dentro de los tubos de protección son normalmente materiales distintos a los compuestos de inundación usados para llenar los intersticios fuera del tubo de protección. Por ejemplo, los compuestos de inundación a menudo no son apropiados para usar dentro del tubo de protección debido a que el material tiene otras propiedades no adecuadas o deseables para la aplicación de relleno. Por lo tanto, los expertos en la técnica distinguen entre compuestos de inundación y
30 compuestos de relleno cuando seleccionan materiales para el interior de un tubo de protección.

Las técnicas descritas en la técnica para bloquear la migración de agua dentro de los tubos de protección
35 substancialmente se dividen en tres categorías generales: (1) usar geles tixotrópicos como compuesto de relleno, (2) agregar polvo súper absorbente (SAP) dentro del tubo de protección, y (3) agregar material para crear zonas de bloqueo de agua dentro del tubo de protección. Las tres soluciones tienen sus inconvenientes, que se describen a continuación.

40 El gel tixotrópico, como se describe en la patente de EE. UU. N° 6.847.768, es un compuesto de relleno convencional y puede evitar la migración de agua dentro de los tubos de protección. Los tubos de protección se rellenan con el gel, que bloquea físicamente cualquier flujo de agua a lo largo del cable. El gel también minimiza los efectos de micro flexión al actuar como un cojín para las fibras o cintas de fibra. Además, los geles tixotrópicos pueden ayudar a acoplar las fibras al tubo de protección, lo que es útil para limitar el movimiento en relación con el tubo de protección y con el cable, evitando la atenuación de las señales ópticas dentro de las fibras.

45 Sin embargo, el uso de los geles tiene sus inconvenientes. El gel debe retirarse de las fibras antes de conectar o empalmar las fibras, como se describe, por ejemplo, en la Patente de EE. UU. N° 7.277.615. Esta operación no solamente consume mucho tiempo, sino que también es engorrosa. La contaminación del espacio de trabajo es posible y el uso de consumibles tales como toallitas y compuestos de limpieza del gel puede presentar problemas de desechado.

Más recientemente, la industria de los cables de fibra óptica se ha movido hacia cables "secos", que utilizan tubos de
50 protección que incluyen cintas o hilos que contienen polvos superabsorbentes (SAP) en lugar de geles tixotrópicos. También se han utilizado cintas e hilos que se hinchan con el agua para bloquear el agua fuera de los tubos de protección debajo de la funda exterior. Los cables que usan elementos con SAP tanto dentro de los tubos de protección como fuera de los tubos de protección se conocen como cables "secos-secos". Estos cables se describen, por ejemplo, en la patente de EE. UU. N° 4.909.592. Esa patente describe el uso de hilos que se hinchan con el agua, un tipo de elemento con SAP, tanto dentro como fuera de los tubos de protección para bloquear la migración de agua. Otro ejemplo de un cable de fibra óptica seco-seco se describe en la patente de EE. UU. N°
55 6.970.629. Esta patente enseña el uso de un inserto seco comprimido, hecho de una cinta de espuma y una cinta que se hincha con el agua, que rodea la cinta de fibra óptica en un cable de tubo único. La fuerza de extracción de la

cinta normalizada enseñada por el documento US 6.970.629 está entre los 0,5 N/m y los 5,0 N/m y más preferiblemente de aproximadamente 1 N/m a aproximadamente 4,0 N/m.

Aunque los elementos con SAP bloquean la migración de agua sin los inconvenientes de limpieza asociados con los geles, los elementos con SAP presentan desventajas. Por ejemplo, algunos elementos con SAP proporcionan un pequeño acoplamiento de las fibras ópticas al interior del tubo de protección, y no proporcionan el efecto de almohadillado que sí proporcionan los geles. Sin el almohadillado, las fibras ópticas son más susceptibles a los daños y a las pérdidas ópticas. Además, un mal acoplamiento inherente a dichos cables secos-secos puede originar aumentos de la atenuación debidos a que las fibras ópticas pueden ser arrastradas irreversiblemente al tubo de protección si el cable se estira durante la instalación. Esto podría aumentar la relación de la longitud de la fibra al tubo de protección, lo que da lugar a una atenuación a bajas temperaturas.

Los elementos con SAP también ocupan espacio en el tubo de protección, que puede restringir negativamente el movimiento, presentar efectos de atenuación por las microflexiones y requerir un aumento en el diámetro de los tubos. Además, debido a que los efectos de acoplamiento de los elementos con SAP pueden no ser tan grandes como los geles, los expertos en la técnica a menudo intentan aumentar las características de acoplamiento mediante el uso de muchos más elementos con SAP de los necesarios para el bloqueo de agua, como se indica en la patente de EE. UU. N° 7.277.615. Pero es probable que esto exacerbe las otras desventajas de los elementos con SAP descritos anteriormente.

Otra preocupación con el uso de elementos con SAP es que la eficiencia del hinchamiento del polvo utilizado en los elementos de bloqueo de agua disminuye con el aumento de la concentración de iones en el agua, como se informó en el artículo de NFOEC de 1997, "Performance of Swellable Materials in High Ionic and Seawater environments", por J. Davis y R. Demaree. Por lo tanto, estos cables "secos" pueden ser menos eficaces para bloquear el agua y requieren más (o mayores) elementos con SAP a medida que aumenta la concentración iónica del agua. Teniendo en cuenta que los cables de fibra óptica están expuestos de manera rutinaria al alto contenido de iones del agua de mar diluida, la escorrentía que contiene sal de carretera y de otros sitios, esta característica puede menoscabar el rendimiento fiable.

El tercer tipo de solución para prevenir la migración de agua implica proporcionar tapones de bloqueo de agua a intervalos espaciados a lo largo del tubo de protección, como se describe, por ejemplo, en las patentes de EE. N° 6.463.199 y 6.847.768, y en la solicitud de patente de EE. UU. N° 2004/0177915. Los tapones de bloqueo de agua están hechos de materiales sólidos, bloqueando físicamente la migración de agua.

El uso de tapones de bloqueo de agua como se describe en la técnica tiene varias desventajas. Primero, la introducción de los tapones sólidos que bloquean el agua durante la fabricación no es trivial y puede ser bastante costosa. Los tapones de bloqueo de agua actuales son sólidos y son difíciles de insertar dentro del tubo de protección de manera que rodeen la fibra óptica dentro del tubo de protección. Con este fin, la patente de EE. UU. N° 6.847.768 enseña a (1) cortar los tapones a partir de una longitud continua de material y a unir de los tapones a una parte del conjunto del tubo de protección durante la fabricación o (2) a inyectar el material del tapón sólido. Para evitar el colapso de los tubos de protección durante la fabricación, la patente de EE. UU. N° 6.931.184 informa sobre la práctica de inyectar gel tixotrópico dentro del tubo de protección durante la extrusión del tubo de protección alrededor de la guía de ondas ópticas, o, alternativamente, utilizando un material de revestimiento especial. En presencia de un tubo de protección hecho de materiales de revestimiento estándar que no está ni completamente relleno, es decir, con una grasa o con un gel, ni parcialmente relleno con elementos con SAP inyectados de manera continua, el tubo de protección puede colapsarse durante la extrusión si el material de tapón no es continuo y está inyectado durante la fabricación.

En segundo lugar, al igual que los elementos con SAP mencionados anteriormente, algunos de los tapones sólidos que bloquean el agua no proporcionan un fuerte acoplamiento entre las fibras ópticas y el tubo de protección. Esto se debe a su diseño, ya que la naturaleza dura y relativamente inflexible de los tapones de bloqueo de agua actuales causaría efectos de atenuación o de microflexión si se acoplan demasiado fuertemente a las fibras y al tubo de protección. Como resultado, el acoplamiento más fuerte en cables descrito en la técnica tiene una fuerza de extracción normalizada de menos de 5,0 N/m.

La "fuerza de extracción normalizada" es la fuerza de extracción medida en una cierta longitud de cable denominada longitud de cable unitaria.

Aunque una fuerza de extracción superior a 5,0 N/m proporciona ciertas ventajas, tiene consecuencias negativas sobre la atenuación y la microflexión con las técnicas actuales.

La fuerza de extracción es la fuerza requerida para comenzar el movimiento de las fibras ópticas y/o las cintas longitudinalmente desde el extremo del cable, y sirve como una indicación de lo bien que están acopladas las fibras al tubo de protección y al cable. Para cumplir con las especificaciones típicas del cliente, la fuerza de extracción debe ser mayor de 0,1625 N veces el número de fibras de la pila de cintas en una longitud de prueba de 30 metros. Por lo tanto, para una pila de cintas de 144 fibras (12 pilas de 12 cintas de fibras), la fuerza de extracción debe ser mayor de 23,4 N, que normalizada es 0,78 N/m. Para una pila de cintas de 72 fibras, la fuerza de extracción debe

ser mayor de 11,7 N por 30 metros (que normalizada es 0,39 N/m). Los cables descritos en la técnica, cuando están equipados con cualquiera de los tapones de bloqueo de agua descritos anteriormente, típicamente exhiben fuerzas de extracción normalizadas de menos de 5 N/m.

5 La fuerza de extracción es importante para la fiabilidad de la red a largo plazo debido a los cambios de elevación y la tendencia al desplazamiento, particularmente en los puntos bajos del cable. Una fuerza de extracción adecuada también es importante para minimizar o eliminar el movimiento de la fibra durante la instalación. La atenuación inducida por la curvatura, que saca de las fibras de las bandejas de empalme o, en el peor de los casos, las roturas de la fibra, pueden producirse debido a un mal acoplamiento de la fibra. Para los cables de cinta de tubo central, el acoplamiento de las fibras al tubo de protección es especialmente importante porque los diseños de tubo único no
10 utilizan tubos trenzados (que inherentemente fijan las cintas o fibras en su sitio).

En tercer lugar, el tapón de bloqueo de agua según se describe en la patente de EE. UU. N° 6.847.768, por ejemplo, proporciona un paso para una pila de cintas de fibra óptica que es ligeramente más grande que la pila de cintas, proporcionando así una ruta de migración para el agua. Por lo tanto, puede requerirse una cinta, polvo o una capa que se hinchen con el agua en el paso alrededor de la pila de cintas de fibra óptica. Además, como se describe en la
15 patente de EE. UU. N° 6.463.199, para eliminar limpiamente el tapón de bloqueo de agua de la fibra óptica, algunos de los tapones de bloqueo de agua descritos en la técnica pueden necesitar una capa de liberación o una capa de unión controlada entre la fibra óptica y el tapón de bloqueo de agua.

Un ejemplo de uno o más insertos secos que bloquean el agua y que acoplan las fibras ópticas al tubo se proporciona en la patente de EE. UU. N° 7.277.615. Esta patente explica que la compresión del inserto seco puede estar en el intervalo desde aproximadamente el 10 % hasta aproximadamente el 90 % y que la fuerza de extracción de la cinta está en el intervalo de aproximadamente 0,5 N/m a aproximadamente 5,0 N/m, más preferiblemente, en el intervalo de aproximadamente 1 N/m a aproximadamente 4 N/m. Este documento enseña que la fuerza de extracción normalizada para una cinta óptica en un cable convencional que emplea grasa o gel tixotrópico es de
20 aproximadamente 4,8 N/m, y que las cintas en cables secos que usan solamente elementos con SAP no comprimidos tienen fuerzas de extracción de 0,5 N/m o menos. La fuerza de extracción normalizada para una cinta en los cables de la patente de EE. UU. N° 7.277.615 está entre 0,5 N/m y 5,0 N/m. Esta técnica refleja las dificultades actuales para lograr una fuerza de extracción superior a 5,0 N/m mediante el uso de tapones de bloqueo de agua convencionales, sin elevar el riesgo de microflección y atenuación a un nivel inaceptable.

También vale la pena señalar que estas fuerzas de extracción pueden medirse con respecto a todo el cable. Para una realización de cable de tubo central, la fuerza de extracción con respecto al cable puede ser aproximadamente la misma que la fuerza de extracción con respecto a un tubo de protección. Para una realización de cable trenzado, la fuerza de extracción con respecto al cable puede ser mayor que la fuerza de extracción con respecto a uno de los tubos de protección.
30

Los solicitantes han identificado la necesidad de un cable óptico (y de un procedimiento para fabricar el mismo) que comprenda un tubo de protección y tapones de bloqueo de agua (es decir, elementos) que puedan bloquear efectivamente la migración de agua, incluida el agua con una alta concentración iónica, dentro del tubo de protección y que mantenga una unión de acoplamiento fuerte, mientras minimiza los inconvenientes anteriores. En particular, los solicitantes han identificado la necesidad de un tubo de protección con provisiones internas de bloqueo de agua que pueda: (1) proporcionar un acoplamiento efectivo entre las fibras ópticas y el tubo de protección, (2) acolchar la(s) fibra(s) óptica(s) dentro del tubo de protección, (3) proporcionar estabilidad térmica para la integridad de la transmisión de los datos ópticos, (4) reducir el engorro implicado al acceder a las fibras ópticas en el campo, y (5) ser fabricado de forma más económica y fácil.
35
40

Más particularmente, el solicitante identificó el problema de tener una gran fuerza de extracción de una fibra óptica desde un tubo de protección sin someter a la fibra óptica a tensiones debidas al movimiento del cable (por ejemplo, durante la colocación y/o la operación del cable).
45

El solicitante encontró que los problemas mencionados anteriormente podrían resolverse mediante tapones de bloqueo de agua que logren una adhesión a la fibra óptica y al material del tubo de protección tales que proporcionan una fuerza de extracción alta, teniendo dichos tapones de bloqueo de agua una capacidad de deformación tal que acomoden la fibra óptica con respecto a los movimientos (flexión, tracción, deformación térmica) del cable sin tensiones sobre la misma.
50

Sumario

La invención comprende un cable de fibra óptica según la reivindicación 1, que comprende un tubo de protección que define un espacio de sección transversal dentro del cable óptico; una fibra óptica, al menos una parte de la cual está rodeada por el tubo de protección y orientada longitudinalmente dentro del cable de fibra óptica; y una pluralidad de tapones de bloqueo de agua que comprenden un material de relleno sólido, cada uno de los cuales tiene una longitud longitudinal, con dos tapones de bloqueo de agua consecutivos separados entre sí en un intervalo longitudinal, en el que los tapones de bloqueo de agua están acoplados a la fibra óptica y al tubo de protección, en el que el material de relleno sólido tiene una penetración de cono de al menos $40 \cdot 10^{-1}$ mm y menos de $125 \cdot 10^{-1}$ mm a -
55

40 °C, medido conforme a la norma ASTM D217 y en la que el material de relleno sólido tiene una tensión medida entre 0,3 atm y 1,1 atm cuando se encuentra a una deformación a compresión del 10 % y a una temperatura de -40 °C.

- 5 Dicho acoplamiento se puede lograr porque los tapones de bloqueo de agua comprenden un material de relleno que es más firme que los geles tixotrópicos disponibles, pero más blando que los tapones de bloqueo de agua sólidos de la técnica. Esta blandura aumentada proporciona la flexibilidad necesaria que permite una mayor fuerza de acoplamiento sin la introducción de los efectos negativos de atenuación y microflexión. Al mismo tiempo, los tapones de bloqueo de agua tienen las características mecánicas para sostenerse como tapones en los tubos de protección y reducir el posible engorro asociado con los geles tixotrópicos.
- 10 Los tapones de bloqueo de agua comprenden un material de relleno sólido, tal como una clase de hidrocarburos cauchutados, o un material de polímero espumado, preferiblemente de tipo de celda cerrada. La deformabilidad (o blandura) del material de relleno se puede medir en términos de "penetración de cono" (la fuerza requerida para penetrar el material con un cono estandarizado), con valores de penetración de cono menores que los de los geles típicos. Por ejemplo, en una implementación, el material de relleno sólido tiene una penetración de cono (medida conforme a la norma ASTM D217) de $90 \cdot 10^{-1}$ mm a $150 \cdot 10^{-1}$ mm a +25 °C. El material de relleno sólido también puede tener una tensión medida que es menor que la de los tapones sólidos que bloquean el agua descritos en la técnica, pero mayor que la de los geles tixotrópicos bajo una deformación a compresión similar. El tapón de bloqueo de agua comprende un material de relleno que tiene una tensión medida a -40 °C desde 0,3 atm a 1,1 atm (5 a 15 psi como equivalente) para una deformación a compresión del 10 %.
- 15
- 20 La fibra óptica acoplada al tubo de protección puede formar parte de al menos una cinta de fibra óptica dispuesta en una pila de cintas. En contraste con los cables de fibra óptica actuales, la resistencia de acoplamiento adicional proporcionada por los tapones de bloqueo de agua según una realización de la presente invención permite que una pila de cintas de fibra óptica tenga una torsión S-Z dentro del tubo de protección en una realización, lo cual es difícil o imposible de lograr o mantener en cables que utilicen gel tixotrópico o elementos con SAP.
- 25 En una realización, el cable de fibra óptica puede incluir elementos adicionales, tales como un sistema de resistencia, una funda exterior; y/o unos medios de bloqueo de agua que se hinche con el agua para bloquear la migración de agua en cualquier intersticio o en cualquier otro espacio vacío entre el tubo de protección y la funda exterior.
- La invención también comprende un procedimiento para fabricar un cable óptico según la reivindicación 8.
- 30 Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta especificación, ilustran varias realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

- 35 La figura 1 es una vista isométrica seccionada de ejemplo de un tubo de protección empleado en un cable de fibra óptica, que tiene un material de relleno sólido para bloquear el agua espaciado a intervalos a lo largo de la longitud del tubo de protección, según una realización.
- La figura 2 es una vista en sección transversal de ejemplo de un tubo de protección empleado en un cable de fibra óptica, según una realización.
- La figura 3 es una vista en sección transversal de ejemplo de una realización del cable de fibra óptica, según una realización.
- 40 La figura 4 es un ejemplo esquemático que ilustra el aparato utilizado en un procedimiento para fabricar un tubo de protección y/o un cable de fibra óptica, según una realización.
- La figura 5 es un diagrama de flujo de ejemplo que comprende pasos de ejemplo para fabricar un tubo de protección y/o un cable de fibra óptica, según una realización.

Descripción de las realizaciones

- 45 Ahora se hará referencia en detalle a las realizaciones actuales, cuyos ejemplos se ilustran en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se utilizarán los mismos números de referencia en todos los dibujos para referirse a las partes iguales o similares.
- 50 Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones que siguen, excepto cuando se indique lo contrario, todos los números que expresan valores, cantidades, porcentajes, etc., deben entenderse como modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Además, todos los intervalos incluyen cualquier combinación de los puntos máximo y mínimo descritos e incluyen cualquier intervalo intermedio en los mismos, que puede o no estar específicamente enumerado en este documento.

Adicionalmente, mientras que ciertos tipos de cables ópticos se describen con fines ilustrativos, las realizaciones y avances descritos en este documento se aplican a cualquier tipo de cable óptico. De hecho, el objetivo de bloquear la migración de agua se aplica a cualquier tipo de cable óptico. Además, los términos "cable óptico", "cable óptico de fibra" y "cable de fibra óptica" se usan indistintamente en este documento. Un cable óptico puede comprender un tubo de protección o, en una realización, puede referirse al propio tubo de protección.

Aunque no se limitan a las realizaciones, dos tipos de cables de fibra óptica secos que se examinan en este documento con fines ilustrativos son: (1) los cables de tubo holgado central, y (2) los cables de tubos holgados trenzados. Con respecto a ambos tipos de cables, el bloqueo de la migración de agua en ambos tipos de cables puede evitar daños a la integridad y/o propiedades de atenuación de los sistemas de cable de fibra óptica.

Un cable de tubo holgado central incluye un tubo de protección hecho de plástico u otro material, mientras que un cable de tubos holgados trenzados puede incluir múltiples tubos de protección. En un cable de tubo holgado central, el tubo de protección se alinea coaxialmente con el eje del cable del tubo holgado central y recibe libremente una o más fibras ópticas. Por el contrario, en un cable de tubos holgados trenzados, hay una estructura de resistencia central para resistir tales fuerzas, y una pluralidad de tubos de protección enrollados alrededor de la estructura de resistencia. Los tubos de protección típicamente se enrollan helicoidalmente o con una orientación en S-Z. En cualquier caso, el tubo de protección puede contener una pluralidad de fibras ópticas, que pueden alinearse en una relación de una al lado de otra en una o más cintas. En una realización, el tubo de protección contiene múltiples cintas de fibra, que se apilan unas sobre otras para formar una pila de cintas. Antes de las realizaciones descritas en el presente documento, las configuraciones de la pila de cintas con una torsión S-Z eran difíciles o imposibles de lograr o mantener utilizando gel tixotrópico o elementos con SAP no comprimidos para acoplar las cintas al tubo de protección. Pero con las propiedades de acoplamiento de los tapones de bloqueo de agua en una realización descrita en este documento, ambos arrollamientos, con torsión S-Z y helicoidal, de la pila de cintas son posibles. Una torsión S-Z puede permitir una fabricación más rápida y facilitar el acceso en la zona intermedia del cable en aplicaciones en las que se requiere fácil acceso a la zona intermedia del cable.

Los cables de fibra óptica deben resistir las fuerzas de tracción y compresión aplicadas al cable. Por esta razón, se emplea un sistema de estructura de resistencia exterior al tubo de protección, rodeado por una funda exterior.

En una realización, un tubo de protección de un cable de fibra óptica contiene tapones de bloqueo de agua espaciados a intervalos longitudinales a lo largo del tubo de protección. Estos tapones de bloqueo de agua se utilizan como materiales de "relleno", lo que significa que bloquean la migración de agua en el interior de los tubos de protección. Si bien también se pueden usar como materiales de "inundación", bloqueando la migración de agua en el exterior de los tubos de protección, las realizaciones se dirigen principalmente a los avances asociados con el uso de los tapones de bloqueo descritos en este documento como materiales de relleno.

En una realización, las características del material de relleno sólido permiten que los tapones que bloquean el agua acoplen la(s) fibra(s) óptica(s) al tubo de protección, proporcionando una fuerza de extracción mayor de 5 N/m y mayor de, preferiblemente, 8 N/m. Este acoplamiento no causa atenuación, rotura u otros efectos negativos de los valores de acoplamiento que previamente preocupaban a los expertos en la técnica. Este sorprendente resultado se debe en parte a las características flexibles de los tapones de bloqueo de agua descritos en el presente documento que acolchan las fibras ópticas y permiten que las fibras se doblen radialmente mientras permanecen substancialmente en su lugar longitudinalmente.

Esta alta fuerza de extracción se puede lograr en una realización debido a las características particulares de los tapones de bloqueo de agua, que se describen en detalle a continuación. En una realización, los tapones de bloqueo de agua son más blandos que los tapones de bloqueo de agua conocidos en la técnica, pero más duros que los geles tixotrópicos. La consistencia resultante permite que los tapones de bloqueo de agua agarren el tubo de protección y las fibras ópticas por fricción, sin los efectos negativos asociados con los tapones de bloqueo de agua más rígidos de la técnica anterior.

Con referencia ahora a la realización de ejemplo de la figura 1, una cinta de fibras 14 ópticas está dispuesta en un tubo 12 de protección. Los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua para inhibir la migración de agua se disponen a intervalos dentro del tubo 12 de protección y rellenan substancialmente el área de la sección transversal del tubo 12 de protección no ocupada por las fibras 14 ópticas. Los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua solamente llenan el área de la sección transversal del tubo 12 de protección en una o más partes espaciadas regular o irregularmente a lo largo de la longitud del tubo 12 de protección.

El tubo 12 de protección según una realización puede estar hecho de materiales de protección de tubos convencionales usados generalmente para tubos de protección, como se conoce en la técnica. Por ejemplo, el tubo 12 de protección puede estar hecho de tereftalato de polibutileno (PBT), polietileno (PE), polipropileno (PP), copolímeros de polipropileno-polietileno (PP-PE) o polipropileno con un óxido de polifenileno modificado. Sin embargo, estos son solamente ejemplos, y otros materiales de revestimiento conocidos en la técnica también se pueden usar en una realización. El material del tubo de protección puede definir un espacio de sección transversal dentro del tubo 12 de protección, en el que están contenidos la fibra 14 óptica y los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua.

Con respecto a estos materiales de tubo de protección, los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua pueden crear una unión de acoplamiento efectivo entre la(s) fibra(s) óptica(s) y el tubo de protección. Además, los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua pueden acolchar las fibras 14 ópticas, a la vez que bloquean la migración de agua en el tubo 12 de protección. Las propiedades de acoplamiento de los tapones de bloqueo de agua según una implementación permiten la fabricación de un cable de fibra óptica que contiene una pila de cinta que tiene una torsión S-Z. La torsión S-Z también puede ser ventajosa en aplicaciones en las que se requiere un fácil acceso a la zona intermedia del cable.

Un tapón 18a de bloqueo de agua puede estar hecho de un material de relleno sólido a base de un hidrocarburo cauchutado o de un material de polímero espumado de celdas cerradas. En una implementación, según la invención, el material de relleno sólido tiene una penetración del cono (medida conforme a la ASTM D217) de al menos $40 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C. En otra implementación, la penetración del cono es de al menos $50 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C. La penetración de cono de este material sólido es inferior a $125 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C según la invención. Estos valores de penetración del cono son menores que para los geles tixotrópicos, pero mayores que para los tapones de bloqueo de agua de la técnica. Por ejemplo, el gel Unigel 400N (un tipo de gel tixotrópico) tiene una penetración de cono de $460 \cdot 10^{-1}$ mm a $+25$ °C, y más de $260 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C. Como estos valores ejemplifican, el material de relleno sólido puede ser más blando que los tapones de bloqueo de agua conocidos en la técnica, mientras que tiene más rigidez que los geles tixotrópicos.

Aunque se utiliza un material de relleno sólido que tiene una penetración de cono mayor de $40 \cdot 10^{-1}$ mm y menor de $125 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C según la invención debido a su facilidad de procesamiento y propiedades elastómeras, también se contemplan otros materiales. Por ejemplo, un material más duro que tiene una penetración de cono de menos de $40 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C puede ser adecuado como material de relleno sólido en una realización que se encuentra fuera del alcance de la presente invención. Sin embargo, el material de relleno más duro puede requerir una longitud de tapón más corta que la de los materiales más blandos para garantizar que no se incremente la atenuación óptica. Por ejemplo, se puede usar una goma de silicona, pero para asegurar tanto una fuerza de extracción alta como una atenuación baja, la longitud del tapón sería de aproximadamente 1 a 6 cm de longitud. También se pueden emplear otros elastómeros siempre que cumplan con los criterios generales para el rango de temperatura.

Las características del material de relleno sólido también pueden describirse en términos de tensión debida a una deformación a compresión. Según la invención, el tubo de protección incluye un material de relleno sólido que tiene una tensión medida a -40 °C de 0,3 atm (aproximadamente equivalente a 5 psi) a 1,1 atm (aproximadamente equivalente a 15 psi) para una deformación a compresión del 10 %. En otra implementación, el material de relleno sólido tiene una tensión de 0,3 atm (aproximadamente equivalente a 5 psi) a aproximadamente 3,4 atm (aproximadamente equivalente a 50 psi) para una deformación a compresión del 25 %. El material de relleno sólido tiene una tensión de 0,3 atm (aproximadamente equivalente a 5 psi) a aproximadamente 7,0 atm (aproximadamente equivalente a 100 psi) para una deformación a compresión del 50 % en otra implementación. Esta tensión se mide según la norma ASTM D3575 con muestras cilíndricas de un diámetro de 1,4 cm y una altura de 1 cm.

En una realización, los tapones de bloqueo de agua están hechos de un material de relleno sólido basado en Unigel® Unibloc, un producto de Shenzhen Unigel Telecommunications Co. Ltd. (disponible comercialmente en T&T Marketing de Allamuchy, NJ). Este producto se ha utilizado y comercializado como un agente de "inundación" (es decir, para bloquear la migración de agua fuera de los tubos reguladores), pero nunca como material de "relleno" dentro de los tubos de protección. El material Unigel® Unibloc tiene una penetración de cono de $121 \cdot 10^{-1}$ mm a $+25$ °C y de $62 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C. Este material tiene una tensión medida a -40 °C de 0,744 atm (10,9 psi) para una deformación a compresión del 10 %; de 1,76 atm (25,9 psi) para una deformación a compresión del 25 %; y de 3,87 atm (56,8 psi) para una deformación a compresión del 50 %.

Alternativamente, el tapón (18) de bloqueo de agua puede estar hecho de un material de relleno sólido en forma de una espuma de celda cerrada. Las espumas de celdas cerradas se preparan tratando un material de polímero con un agente espumante, p. Hydrocerol® (Clariant Masterbatch GmbH) como se conoce en la técnica. Mientras que la espuma de celdas abiertas permite el paso del agua, la espuma de celdas cerradas no lo permite.

Los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua rellenan substancialmente el área de la sección transversal del tubo 12 de protección no ocupado por las fibras 14 ópticas. Pueden estar espaciados longitudinalmente a lo largo del tubo 12 de protección a intervalos regulares o irregulares. Como se muestra en la figura 1, la longitud 2a longitudinal rellena con un tapón 18a de bloqueo de agua en el tubo 12 de protección es menor que aproximadamente la mitad de la longitud del intervalo 3 entre los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua. Dicho de otra manera, los intervalos espaciados son preferiblemente al menos de dos a tres veces mayores que la longitud longitudinal del tapón 18a de bloqueo de agua. En una realización, tal como con tapones de bloqueo de agua sin silicona, la longitud del tapón 18a o 18b de bloqueo de agua puede ser tan corta como de aproximadamente 10 cm de longitud.

La separación 3 entre dos tapones 18a y 18b de bloqueo de agua puede ser menor de 1 metro sin el uso de elementos con SAP (por ejemplo, sin hilos) para protección adicional contra el bloqueo de agua. Con el fin de acoplar la(s) fibra(s) óptica(s) al tubo de protección, la separación puede ser superior a 1 metro. Si el espaciado es mayor de 1 metro, pueden ser necesarios otros medios de bloqueo de agua en el tubo de protección para pasar las

pruebas de penetración de agua. Sin embargo, los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua todavía pueden proporcionar acoplamiento para al menos una fibra óptica.

Además, los elementos con SAP, preferiblemente en forma de polvo, pueden mezclarse con el material de relleno sólido del tapón 18a de bloqueo de agua mientras está en forma líquida para mejorar la capacidad de bloqueo de agua del tapón 18a de bloqueo de agua, mientras mantiene características aceptables de fuerza de extracción. Además, de uno a aproximadamente doce elementos con SAP, tales como hilos, pueden disponerse longitudinalmente en los espacios 3 de los tubos de protección próximos a la(s) fibra(s) 14 óptica(s). El número de hilos con SAP puede basarse en la distancia entre los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua y/o el tipo de agua a la que se espera que esté expuesto el cable. Por ejemplo, se pueden usar de 1-3 hilos si los tapones de bloqueo de agua están separados 1 metro o menos y el agua de mar o contaminada con iones forma parte del entorno del cable, aunque estos hilos no son normalmente necesarios, pero por protección. Si los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua están separados más de 1 metro, se pueden emplear de 1-12 hilos.

La longitud 2a del tapón de bloqueo de agua es preferiblemente de 10 cm a 75 cm, y más preferiblemente de 15 cm a 25 cm, pero podría ser tan larga como la mitad del intervalo 3 entre los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua. Por lo tanto, una realización en el presente documento puede eliminar los problemas de usar más elementos con SAP que los necesarios para bloquear el agua con el fin de asegurar el acoplamiento. La longitud y el espaciado de los tapones de bloqueo de agua se determinan normalmente por el diseño del cable en particular y por la aplicación del cliente y por la condición de la instalación.

Como se muestra, el tapón 18a de bloqueo de agua puede rodear y acoplar la fibra óptica 14 al tubo 12 de protección. En una realización, este acoplamiento da como resultado una fuerza de extracción normalizada para un cable de fibra óptica de más de 5 N/m. En otra realización, la fuerza de extracción normalizada es mayor de 8 N/m para una construcción de tubo único que emplea cintas de fibra óptica. A medida que aumenta el total de cintas de fibra óptica, las fuerzas de extracción pueden exceder los 8 N/m en una proporción significativa. Esto se debe a que a medida que la pila de cintas se hace más grande, el área de contacto con los tapones de bloqueo de agua aumenta, lo que proporciona una mayor fuerza de extracción.

En una realización, la fuerza de extracción se mide con respecto al cable de fibra óptica. En otra realización, la fuerza de extracción se mide con respecto al tubo de protección que contiene la fibra óptica.

Para una realización, un ejemplo de prueba de extracción realizada en un cable de cinta de fibra óptica de tubo único de 26 metros de longitud que contiene una pila de seis cintas de 12 fibras demostró que se requieren aproximadamente 244 N de fuerza para iniciar el deslizamiento de la cinta del tapón de bloqueo de agua. Normalizado sobre toda la longitud de la muestra de prueba, este cable de prueba tiene una fuerza de extracción de cinta de 9,3 N/m. Los cables con pilas de cinta más grandes generalmente tienen mayores fuerzas de extracción, y los cables con pilas de cinta más pequeñas generalmente tendrían fuerzas de extracción más bajas.

Al calcular la fuerza de extracción de la cinta mediante el procedimiento alternativo descrito anteriormente, la fuerza de extracción de la cinta para este cable de cinta de 72 fibras es de 244 N, muy por encima de la especificación de 11,7 N requerida (0,1625 N por 72 fibras). Los cables de tubo único pueden tener fuerzas de extracción de la cinta superiores a aproximadamente 150 N, independientemente del número de fibras ópticas en la cinta de fibra óptica.

Estas pruebas de extracción demuestran un acoplamiento de cinta superior al tubo de protección y al cable, en comparación con los cables existentes y las especificaciones de la industria. Y este acoplamiento superior se logra sin afectar adversamente la atenuación óptica.

En una realización, la incorporación de tapones de bloqueo de agua que tienen una penetración de cono o medidas de tensión descritas previamente se eliminan fácilmente de las fibras ópticas sin dejar un residuo. El material de relleno se puede acoplar más estrechamente con el tubo protector que con la fibra óptica, lo que hace que el material de relleno permanezca substancialmente con el tubo de protección durante la extracción. La superficie del tubo de protección puede ser más áspera que la de las fibras ópticas, lo que lleva a la diferencia en la resistencia del acoplamiento basada en la fricción. Como resultado, las fibras ópticas no requieren la limpieza que es característica de los geles tixotrópicos.

Los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua acolchan la(s) fibra(s) óptica(s), acoplan las fibras ópticas al tubo de protección, no dejan residuos significativos en las fibras ópticas cuando se accede a las fibras ópticas, y bloquean el agua efectivamente por sí mismos incluso en ausencia de elementos con SAP.

El acoplamiento de la fibra óptica 14 al tubo 12 de protección exhibe una elevada fuerza de extracción sin comprometer el rendimiento óptico como se describirá en detalle. La elevada fuerza de extracción del cable puede permitir la instalación de dicho cable en entornos críticos (con cambios de elevación o en instalaciones aéreas y de bajo grado) en los que el movimiento relativo entre la fibra óptica y el cable debe minimizarse.

El material de relleno sólido se adhiere por fricción y compresión al tubo 12 de protección y sostiene la fibra 14 óptica, inhibiendo substancialmente cualquier movimiento alrededor, alrededor o a lo largo del eje longitudinal del

tubo de protección. Esta adhesión se debe, al menos en parte, al procedimiento de fabricación del cable, que se explica con más detalle a continuación.

5 Los cables según una o más de las realizaciones en el presente documento también reaccionan bien a los ciclos de temperatura. Los estándares de la industria, a saber, el estándar Telecordia GR20 requieren que los cables de fibra óptica para exteriores se sometan a un ciclo de temperatura entre -40 °C y + 70 °C en un rollo de cable para garantizar una buena temperatura y un rendimiento de envejecimiento. La especificación de Telecordia GR20 requiere que el 90 % de las fibras ópticas tengan un cambio medio de atenuación menor o igual a 0,05 dB/km, con el cambio más grande que sea menor o igual a 0,15 dB/km en los extremos de temperatura. Un cable, según al menos una realización, que comprende una pila de seis cintas de 12 fibras dispuestas en un tubo de protección con tapones de bloqueo de agua de 66 cm espaciados a 1,5 metros, se sometió a ciclos de temperatura y se probó conforme a la especificación de Telecordia GR20. Cinco de las cintas de fibra óptica eran fibras simuladas y, por lo tanto, no se probaron. La cinta inferior de la pila tenía fibras vivas, que se probaron. Los datos de la prueba se presentan en la tabla 1, a continuación. Como puede verse en los datos, el cable cumple con la especificación de Telecordia GR20.

Tabla 1: Telecordia GR-20 (datos de atenuación de ciclos de -40 °C a +70 °C)

Color de la fibra	+23 °C dB/km	+70 °C dB/km	Delta dB/km	-40 °C dB/km	Delta dB/km
Azul	0,21	0,20	-0,01	0,21	0,00
Naranja	0,20	0,20	0,00	0,19	-0,01
Verde	0,19	0,19	0,00	0,20	0,01
Marrón	0,19	0,19	0,00	0,18	-0,01
Pizarra	0,19	0,19	0,00	0,18	-0,01
Blanco	0,19	0,20	0,01	0,18	-0,01
Rojo	0,18	0,20	0,02	0,20	0,02
Negro	0,19	0,19	0,00	0,19	0,00
Amarillo	0,19	0,20	0,01	0,20	0,01
Violeta	0,19	0,20	0,01	0,19	0,00
Rosa	0,19	0,19	0,00	0,19	0,00
Agua	0,20	0,20	0,00	0,19	-0,01

15 Con referencia ahora a la figura 2, y como se mencionó anteriormente, el bloqueo de agua dentro del tubo 12 de protección se puede mejorar al disponer uno o más elementos 16 con SAP longitudinalmente dentro del tubo 12 de protección. Un posible elemento 16 con SAP es un hilo impregnado con polvo que se hincha con el agua. Se pueden usar uno o más hilos con SAP, siendo el número seleccionado normalmente en vista del entorno en el que se instalará el cable. En una realización, de 2 a 3 hilos 16 con SAP están dispuestos longitudinalmente en el tubo 12 de protección.

20 En otra realización, de 1 a 5 hilos con SAP pueden estar dispuestos longitudinalmente dentro del tubo de protección, además de los tapones de bloqueo de agua. Este bajo número de hilos mejora las capacidades de bloqueo de agua del cable sin afectar negativamente el tamaño del cable o el rendimiento óptico del cable, como se ha explicado anteriormente, cuando hay una gran cantidad de elementos con SAP.

25 Con referencia ahora a la figura 3, se ilustra una vista en sección transversal de un cable 20 de fibra óptica que tiene una funda 22 y estructuras 24 de resistencia. Si bien el cable 20 ilustrado solamente contiene un tubo 12 de protección, otras realizaciones pueden contener una pluralidad de tubos 12 de protección. Como se ilustra, se incluye un elemento 16 con SAP dispuesto longitudinalmente y próximo a las fibras 14 ópticas. La funda 22 puede comprender materiales estándar conocidos en la técnica del revestimiento de cables. Como se muestra, la funda 22 puede rodear el tubo 12 de protección. Aunque no se muestran, otros elementos, tales como el hilo o la cinta con SAP, pueden interponerse entre el tubo 12 de protección y la funda 22.

30 Un sistema 24 de estructura de resistencia puede proporcionar estabilidad adicional al cable, evitando además la atenuación. Como se muestra en la figura 3, el sistema 24 de estructura de resistencia puede comprender dos varillas diametralmente opuestas incrustadas en la funda. Sin embargo, otras disposiciones de estructuras de resistencia son posibles.

35 En una realización, una pluralidad de tubos de protección puede estar arrollado junto con una torsión oscilante inversa o helicoidal o alrededor de una estructura de resistencia central. Una funda exterior 22 puede envolver los tubos de protección trenzados, la estructura de resistencia central y los elementos con SAP (si los hay).

40 La figura 4 es un esquema del aparato utilizado para fabricar tubos de protección y/o cables de fibra óptica según una realización. Se analizará simultáneamente con la figura 5, que es un diagrama de flujo que comprende pasos de ejemplo para fabricar tubos de protección y/o cables de fibra óptica según una realización.

45 En un aspecto, el procedimiento para fabricar un tubo de protección que contiene tapones de bloqueo de agua y fibras ópticas incluye proporcionar una fibra óptica, como se indica en el paso 100. La provisión de la fibra óptica puede incluir el avance de al menos una fibra 14 óptica en un tubo 44 interior hacia una cabeza 30 de extrusión. El

tubo 44 interior está dispuesto dentro de un tubo 42 exterior, que recibe el material utilizado para formar los tapones de bloqueo de agua. Ambos tubos 42 y 44 culminan en una cabeza de extrusión compuesta por una punta 34 y una matriz 32.

5 En una realización, a medida que la fibra óptica se alimenta al tubo 44 interior, el aire también puede ventearse hacia el tubo 44 interior (en la dirección de la flecha X). Alternativamente o además, el procedimiento también puede incluir transportar aire al paso 46 entre el exterior del tubo 42 exterior y la punta 34.

10 Además, uno o más elementos con SAP pueden avanzar con al menos una fibra óptica en otra implementación. Alternativamente u opcionalmente, el SAP se puede espolvorear sobre las cintas de fibra óptica y se puede emplear en los espacios vacíos entre los enchufes. Sin embargo, los elementos con SAP no siempre son necesarios para pasar las pruebas de penetración de agua estándares de la industria, pero se pueden usar para protección adicional.

15 Volviendo al paso 200, en una realización, el procedimiento de fabricación puede incluir el paso de extruir un material de revestimiento en forma tubular alrededor de la fibra óptica. Como se mencionó anteriormente, el tubo de protección puede ser de un material de tubo de protección seleccionado de entre el tereftalato de polibutileno (PBT), el polietileno (PE), el polipropileno (PP), los copolímeros de polipropileno-polietileno (PP-PE), o el polietileno o el polipropileno con un óxido de polifenileno modificado. Sin embargo, cualquier material conocido en la técnica para crear tubos de protección se puede usar como alternativa.

20 En el paso 300 de ejemplo, un material de relleno puede ser bombeado periódicamente al tubo de protección. Esto se puede hacer fundiendo un material 28 de relleno sólido a forma líquida, y bombeando periódicamente la forma líquida en el tubo exterior para formar los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua. Se puede emplear una válvula 50 conmutada para controlar la longitud longitudinal del tapón de bloqueo de agua formado a partir del material 28 sólido de relleno y la separación del intervalo de los tapones de bloqueo de agua dentro del tubo de protección en el paso de bombear periódicamente el material sólido de relleno en forma líquida. El polvo SAP se puede mezclar con el material de relleno antes de bombearlo al tubo de protección durante la extrusión.

25 En una realización, los pasos 100, 200 y 300 se producen de manera substancialmente simultánea. Por ejemplo, mientras la fibra 14 óptica avanza y la forma líquida del material de relleno se bombea periódicamente, un material 25 de tubo de protección se extruye en forma tubular sobre la fibra 14 óptica, los tapones 18a y 18b de bloqueo de agua, y el aire se ventea fuera de los tubos interior 44 y exterior 42 más allá de la punta 34 y la matriz 32.

30 Debido a que los tubos de protección no están completamente llenos (por ejemplo, con una grasa o gel) ni están significativamente sino parcialmente llenos con elementos con SAP provistos de forma continua, existe el riesgo de que el tubo de protección pueda colapsarse durante la extrusión del material de revestimiento en la partes del tubo de protección que carecen de un tapón de material sólido de relleno para soporte. Por esta razón, en el paso 400, una realización incluye mantener al menos substancialmente la misma presión dentro del tubo de protección que fuera del tubo de protección durante la extrusión del material de revestimiento. La presión requerida se puede mantener, por ejemplo, permitiendo que el aire fluya dentro del tubo de protección desde el puerto 46 de aire. Si el aire es forzado dentro del tubo, la presión puede ser mayor dentro que fuera. Alternativamente, si el aire fluye libremente dentro del tubo, la presión dentro y fuera puede ser substancialmente igual.

35 En el paso 500, el material de revestimiento puede enfriarse a medida que se solidifica el material de relleno. Esto se logra, en una realización, mediante el avance hacia un canal de enfriamiento (no mostrado) el tubo de protección y su contenido. Esto permite que el tubo 12 de protección se forme alrededor de la fibra 14 óptica, de los tapones de bloqueo de agua y de cualquier otro contenido. En otro procedimiento, el tubo 12 de protección se seca al aire durante un período y/o se hace avanzar hacia el canal de enfriamiento en algún momento posterior. La forma líquida del material de relleno eventualmente se solidifica en un tapón a medida que el tubo de protección se enfría. La contracción del tubo de protección y del material sólido de relleno refuerza el acoplamiento de la fibra óptica, el material de relleno sólido y el tubo. Las propiedades elásticas del material de sólido de relleno le permiten deformarse con el tubo de protección, a la vez que acolchan la fibra óptica y acoplan la fibra óptica al tubo de protección.

40 En resumen, una realización descrita en este documento permite proveer un tubo de protección que contiene tapones de bloqueo de agua con características particulares que permiten un acoplamiento más fuerte entre la fibra óptica y la pared interna del tubo de protección sin causar una atenuación no deseada. Los tapones de bloqueo de agua pueden comprender un material de relleno que es más blando que los tapones de bloqueo de agua anteriores, pero lo suficientemente firme como para mantenerse como un tapón dentro del tubo de protección. La blandura agregada acolcha la fibra óptica y la naturaleza periódica de los tapones de bloqueo de agua permite que la fibra óptica se mueva dentro del tubo de protección, pero acopla la fibra óptica fuertemente al tubo de protección. Por lo tanto, los expertos en la técnica no deben temer las fuerzas de extracción superiores a 5 N/m, y en su lugar pueden aprovechar las ventajas de mayores fuerzas de extracción. Además, a diferencia de los geles tixotrópicos, el material de relleno puede eliminarse limpiamente con el tubo de protección, evitando el engorro durante el acceso a las fibras o a las cintas.

5 Los tapones de bloqueo de agua de una realización también pueden permitir la fabricación más fácil de un cable de fibra óptica, ya que el material de relleno se puede bombear hacia el tubo de protección en forma líquida, creando una fuerte unión de acoplamiento con el tubo de protección cuando ambos se solidifican juntos. Esta mejora en la fabricación ahorra costes en comparación con las técnicas utilizadas en la técnica para proveer tapones de bloqueo de agua dentro de un tubo de protección.

Otras modificaciones y realizaciones de la presente invención son posibles sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un cable óptico que comprende:
- un tubos (12) de protección que define un espacio de sección transversal dentro del cable óptico;
 - 5 una fibra (14) óptica, al menos una parte de la cual está rodeada por el tubos (12) de protección y orientada longitudinalmente dentro del cable de fibra óptica; y
 - una pluralidad de tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua que comprenden un material sólido de relleno, teniendo cada uno de la pluralidad de tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua una longitud longitudinal, con dos tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua consecutivos separados entre sí por un intervalo longitudinal,
 - 10 en el que los tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua están acoplados a la fibra (14) óptica y al tubos (12) de protección,
 - caracterizado porque** el material sólido de relleno tiene una penetración de cono de al menos $40 \cdot 10^{-1}$ mm y de menos de $125 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C, medida conforme a la norma ASTM D217
 - en el que el material sólido de relleno tiene una tensión medida entre 0,3 atm y 1,1 atm cuando sufre una deformación a compresión del 10 % y a una temperatura de -40 °C.
- 15 2. El cable óptico de la reivindicación 1, en el que el intervalo longitudinal entre los dos tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua consecutivos es al menos el doble de largo que la longitud longitudinal de cualquiera de los tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua consecutivos.
3. El cable óptico de la reivindicación 1, en el que las longitudes longitudinales de los tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua son mayores de 10 cm.
- 20 4. El cable óptico de la reivindicación 1, en el que el acoplamiento de los tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua al tubos (12) de protección da como resultado una fuerza de extracción del tubos (12) de protección de más de 5 N/m para la fibra (14) óptica.
5. El cable óptico de la reivindicación 1, en el que el acoplamiento de los tapones (18a, 18b) de bloqueo de agua al tubos (12) de protección da como resultado una fuerza de extracción del tubos (12) de protección de al menos 8 N/m para la fibra (14) óptica.
- 25 6. El cable óptico de la reivindicación 1, en el que el material sólido de relleno tiene una penetración de cono de al menos $50 \text{ mm} \cdot 10^{-1}$ y de menos de $125 \text{ mm} \cdot 10^{-1}$ a -40 °C medida conforme a la norma ASTM D217.
7. El cable óptico de la reivindicación 1, en el que la fibra (14) óptica forma parte de una pila de cintas con orientación de torsión S-Z.
- 30 8. Un procedimiento para fabricar un cable óptico, que comprende:
- proporcionar una fibra (14) óptica;
 - extruir un tubos (12) de protección en forma tubular concéntrica alrededor de la fibra (14) óptica de modo que la fibra (14) óptica esté dentro de un paso interno del tubos (12) de protección;
 - 35 bombear periódicamente un material de relleno en forma líquida en el paso interior del tubos (12) de protección, rellenar las secciones del tubos (12) de protección con el material de relleno y dejar intervalos del tubos (12) de protección sin material de relleno;
 - mantener al menos substancialmente la misma presión dentro del tubos (12) de protección en comparación con el exterior del tubos (12) de protección en los intervalos en los que no se bombea material de relleno al tubos (12) de protección; y
 - 40 enfriar el tubos (12) de protección a medida que el material de relleno se solidifica, estando el material sólido de relleno a temperatura ambiente,
 - caracterizado porque** el material sólido de relleno tiene una penetración de cono de al menos $40 \cdot 10^{-1}$ mm y de menos de $125 \cdot 10^{-1}$ mm a -40 °C, medida conforme a la norma ASTM D217,
 - en el que el material sólido de relleno tiene una tensión medida entre 0,3 atm y 1,1 atm cuando sufre una deformación a compresión del 10 % y a una temperatura de -40 °C.
- 45 9. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además hacer avanzar la fibra (14) óptica en un tubo (44) interior hacia un cabezal (30) de extrusión, en el que el material de relleno se bombea periódicamente a un tubo (42) exterior concéntrico alrededor del tubo (44) interior, y en el que la extrusión del tubos (12) de protección ocurre

substancialmente de manera simultánea con el avance de la fibra (14) óptica y el bombeo periódico del material de relleno.

10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que el cabezal (30) de extrusión incluye una punta (34) concéntrica alrededor del tubo (42) exterior, que comprende además

- 5 formar un paso (46) entre la punta (34) y el tubo (42) exterior, y transportar aire al pasaje (46).

11. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además mezclar un elemento de polvo superabsorbente con la forma líquida del material de relleno.

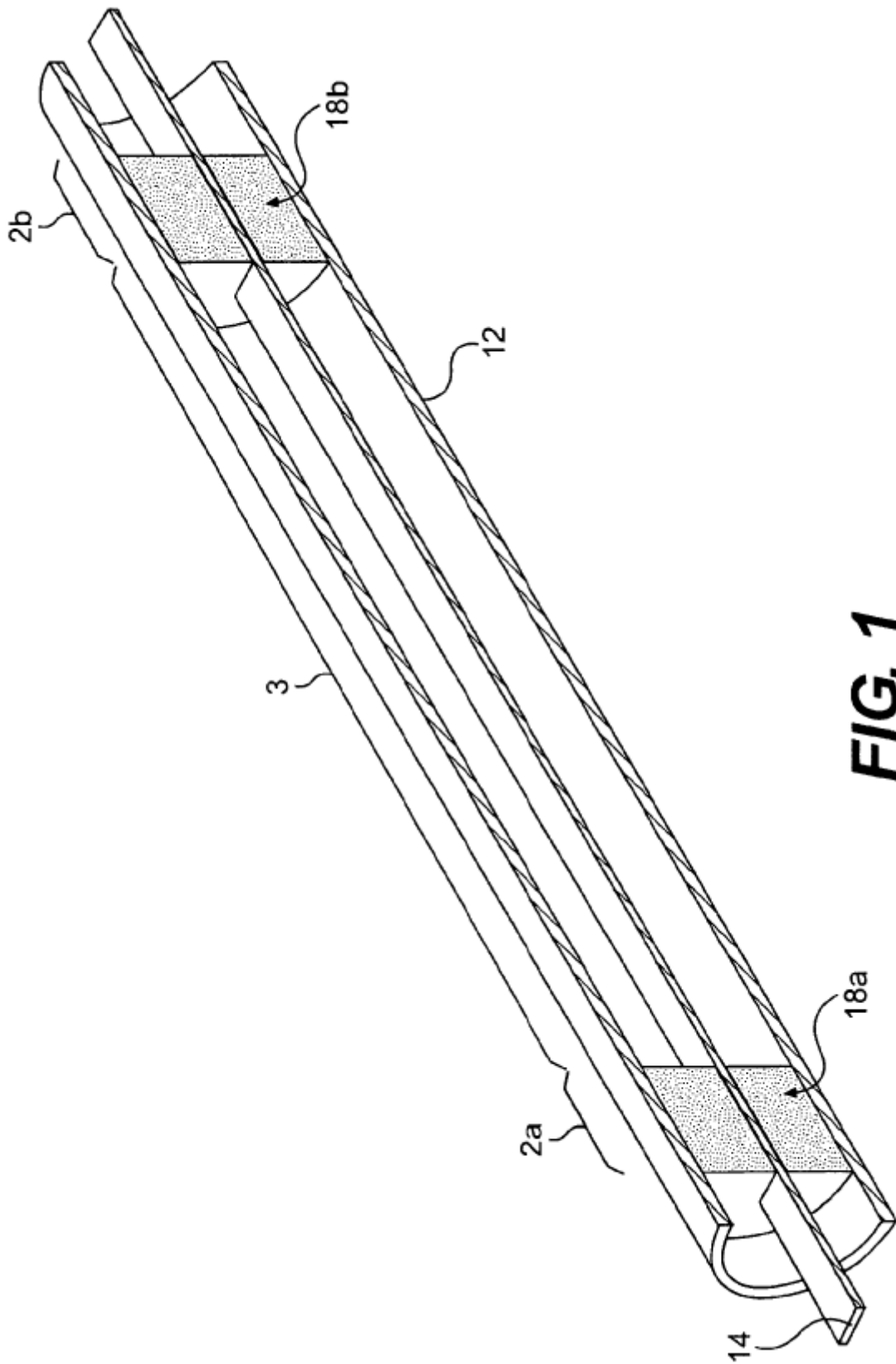


FIG. 1

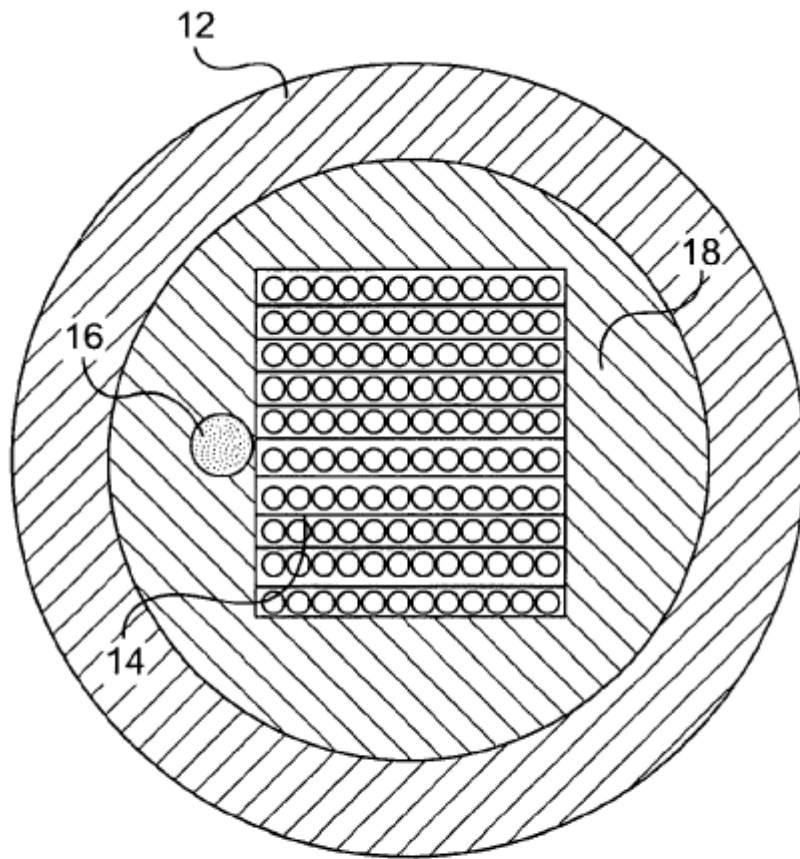


FIG. 2

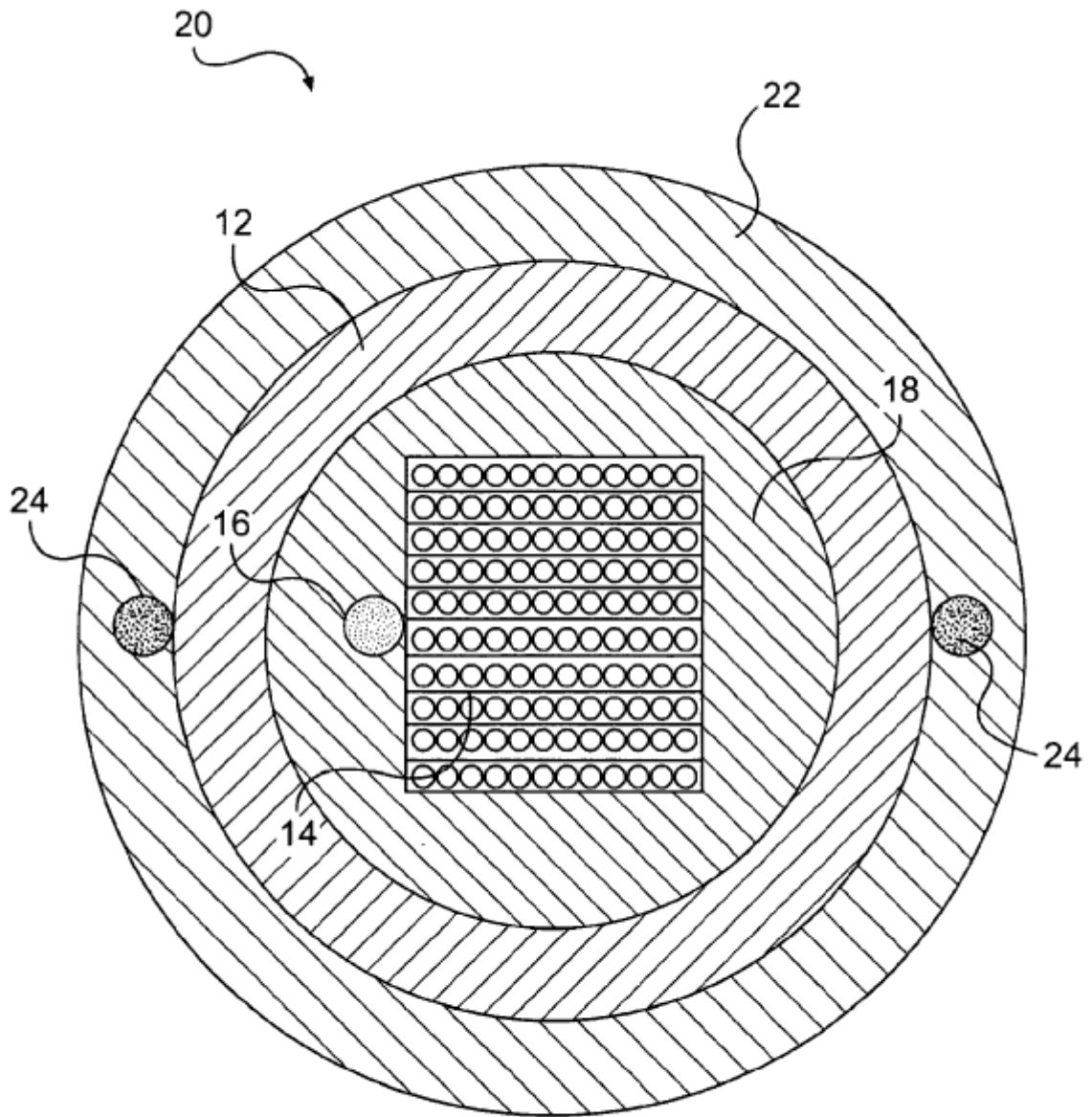


FIG. 3

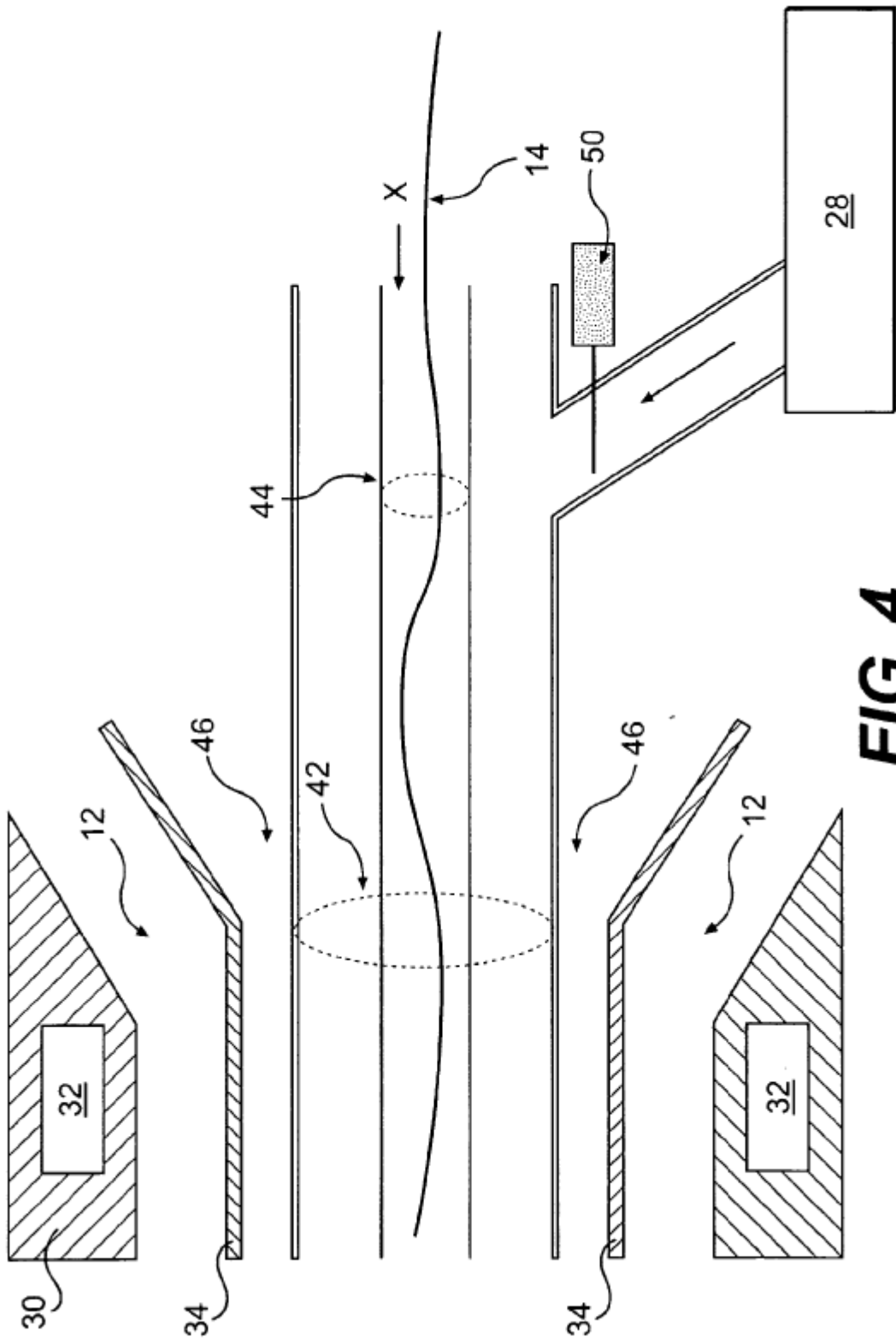


FIG. 4

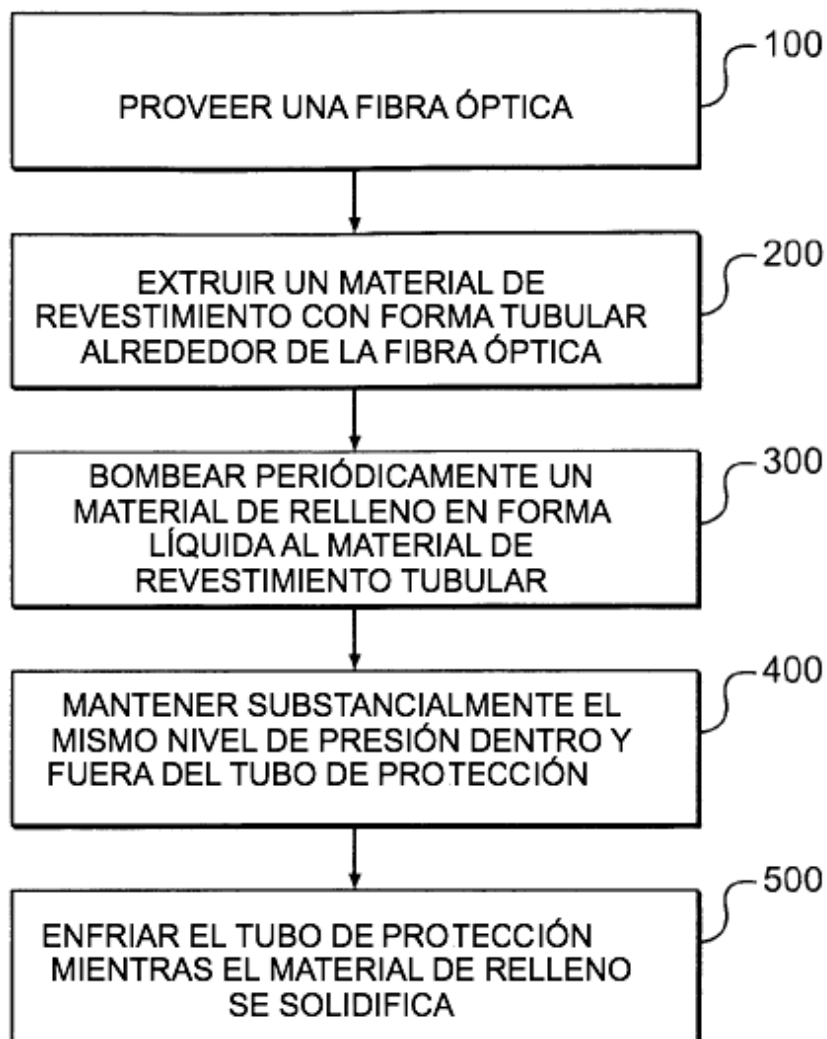


FIG. 5