



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 356 051**

(51) Int. Cl.:
H01B 7/28 (2006.01)
G02B 6/44 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **99952532 .2**
(96) Fecha de presentación : **06.10.1999**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1121693**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **08.08.2001**

(54) Título: **Cable resistente al agua.**

(30) Prioridad: **07.10.1998 EP 98118900**
16.10.1998 US 104637 P

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.04.2011

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.04.2011

(73) Titular/es: **PRYSMIAN S.p.A.**
Viale Sarca 222
20126 Milano, IT

(72) Inventor/es: **Anelli, Pietro y**
Colombo, Gianfranco

(74) Agente: **Ponti Sales, Adelaida**

ES 2 356 051 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

[0001] La presente invención se refiere a un cable, en particular, a un cable de fibra óptica, que es resistente a la penetración radial y a la propagación longitudinal del agua.

5 **[0002]** La presente invención se refiere también a un procedimiento para mantener una alta resistencia al paso del agua, tanto en estado líquido como en el estado de vapor, dentro de los cables, en particular, cables de fibra óptica.

[0003] Los cables y, en particular los cables de fibra óptica, se utilizan en condiciones ambientales que incluyen el contacto con el agua, tanto en forma líquida como en forma de vapor.

10 **[0004]** La presencia de moléculas de agua dentro de los cables ópticos, y en particular cerca de las fibras ópticas, resulta en la reducción de las capacidades de transmisión de las fibras.

15 **[0005]** Dicha reducción en las capacidades de transmisión de las fibras se debe en particular a la difusión de vapor de agua a través de recubrimientos secundario de tinta y primario en la fibra óptica y la posterior condensación de agua en la interfaz entre el recubrimiento secundario y la tinta y entre el recubrimiento primario y el vidrio. Esta condensación puede conducir a un desprendimiento local entre la tinta y el recubrimiento secundario o entre el vidrio y el recubrimiento primario, dando lugar a tensiones mecánicas irregulares ("micropliegues"), que pueden causar la atenuación de la señal transmitida.

[0006] El contacto de las fibras ópticas con el agua líquida puede producirse después de la penetración de agua en un extremo mal cubierto (durante el almacenamiento o la instalación del cable) o como consecuencia de daños accidentales a esta funda.

20 **[0007]** La presencia de agua, en particular de agua en estado líquido, y la posibilidad de su propagación longitudinal en el interior de los cables también es una posible causa de daños en el aparato al que están conectados los cables. En vista de las observaciones anteriores, por lo tanto, es ventajoso bloquear la propagación de agua y limitar lo máximo posible la longitud del cable que, después del contacto con el agua, tendrá que ser descontaminado.

25 **[0008]** El contacto de las fibras ópticas dentro de un cable con agua en el estado de vapor se produce cuando el agua penetra a través de las capas que forman el cable óptico, para así poder entrar donde están las fibras ópticas. Hasta valores de humedad relativa bastante altos (típicamente de aproximadamente 75-80%), las fibras ópticas no se ven afectadas adversamente por la presencia de vapor de agua, e incluso pueden permanecer en esas condiciones durante años. Por encima de este límite, la alta humedad en contacto con la superficie de las
30 fibras ópticas puede dar lugar a inconvenientes similares a los causados por el contacto con agua líquida (por ejemplo, delaminación, desprendimiento local entre el vidrio y el recubrimiento y/o desprendimiento entre las diversas capas de recubrimiento, fenómenos de micropliegues), lo cual puede resultar en un aumento de la atenuación. Finalmente, un contacto prolongado de agua (ya sea agua líquida o agua en el estado de vapor) con la superficie de la fibra, como el que se produce después de la delaminación del recubrimiento primario con el vidrio,
35 puede conducir a una reducción en la resistencia mecánica del vidrio de la fibra.

[0009] Una serie de soluciones para limitar o impedir la entrada de agua en los cables se describen en la técnica anterior.

40 **[0010]** Por ejemplo, para limitar la penetración de agua líquida en cables de fibra óptica, se conoce la práctica de introducir un material de relleno de bloqueo de fluido, típicamente una grasa o un aceite espeso, en la estructura del cable para establecer una barrera física al paso del agua en el cable. Estos materiales de relleno, como no tienen interacciones físico-químicas particulares con el agua, también se conocen como "materiales de bloqueo inerte".

[0011] Ejemplos de estos materiales de relleno de bloqueo inerte se describen en las patentes EP 811.864, US 5.285.513, US 5.187.763 y EP 541.007.

45 **[0012]** La introducción de dichos materiales de relleno de bloqueo inerte en la estructura del cable óptico durante su fabricación es a menudo laboriosa, tal como el procesamiento de los extremos ("cabezas") de estos cables, que deben ser envueltos para evitar cualquier pérdida del material de relleno. Además, durante la instalación y/o el mantenimiento del cable, para poder hacer uniones entre las diferentes piezas del cable, es necesario limpiar el material de relleno de bloqueo de todos los componentes del cable óptico, que pueden provocar daños en las
50 fibras ópticas debido a la acción de los solventes y de la fricción.

[0013] Otra solución conocida para limitar la entrada de agua en los cables ópticos prevé el uso de materiales que se hinchan en agua, es decir, sustancias capaces de absorber una cierta cantidad de agua, aumentando así su volumen. En contraste con los materiales descritos anteriormente, estos materiales también son conocidos como "materiales de bloqueo activo".

55 **[0014]** Típicamente, estos materiales que se hinchan en agua se distribuyen en soportes hechos de

material plástico fibroso, por ejemplo cintas o hilos, que se colocan cerca de las estructuras de cable que se desea proteger contra el contacto con el agua.

[0015] Por ejemplo, la patente US 4.867.526 describe un cable que comprende una cinta de material no tejido (en particular poliéster) impregnada con una solución de material que absorbe agua, en particular, ácido poliacrílico hecho insoluble mediante reticulación, que es capaz de expandirse al entrar en contacto con el agua.

[0016] La patente US 5.138.685 describe un cable que comprende una cinta laminada que consiste en dos capas superpuestas de material de polímero no tejido, entre las cuales se coloca un material que se hincha en agua en forma de polvo.

[0017] La patente US 5.642.452 describe un cable que comprende un hilo impregnado con material que se hincha en agua, en particular ácido poliacrílico. Este hilo se enrolla alrededor de un elemento central de refuerzo, junto con elementos tubulares que contienen las fibras ópticas que se llenan con un material de bloqueo "inerte" convencional. De acuerdo con la descripción dada en esa patente, esta configuración es capaz de impedir el paso longitudinal de agua en las áreas en forma de estrella creadas por la bobina helicoidal de los elementos tubulares alrededor del elemento central.

[0018] La patente US 4.767.184 describe un cable óptico con un núcleo ranurado, en cuyas ranuras se colocan varias tiras de fibras ópticas superpuestas, cada una recubierta con una capa de resina que contiene un material que se hincha en agua o hinchable. En combinación con las tiras de fibra óptica con un recubrimiento que contiene material que se hincha en agua, se puede utilizar un recubrimiento del mismo material aplicado al núcleo ranurado, mientras que en las ranuras en las que no están presentes tiras de fibra óptica es necesario el uso de un polvo hecho de un material que absorbe agua.

[0019] La patente alemana DE 1.765.647, que se refiere a cables convencionales de telecomunicaciones con conductor de metal, describe un cable de 4 hilos en donde el núcleo del cable y los hilos están solapadas con una lámina de 100 µm de espesor hecha de un alcohol polivinílico de baja saponificación y muy polimerizado.

[0020] El solicitante ha observado que si las cintas de fibras que se hinchan en agua se utilizan durante la fabricación del cable, es necesario incluir una operación de envoltura adicional. Además, el problema de liberación de polvos que se hinchan en agua surge a menudo, con el resultado, por una parte, que el efecto de bloqueo del agua es más bajo cuando es necesario y, por otra parte, durante la instalación y el mantenimiento, la estructura del cable debe estar libre de la presencia de estos polvos.

[0021] Además, una vez que el efecto de absorción de agua está completo, los materiales conocidos que se hinchan en agua se comportan como materiales inertes de relleno, estableciendo una simple barrera física para el paso del agua. Por lo tanto, es necesario prever una cantidad suficiente de estos materiales en la estructura del cable que se desea proteger. Sin embargo, en ciertas estructuras de cables ópticos, tales como, por ejemplo, en elementos tubulares de plástico que contienen fibras ópticas dispuestas sueltas, la cantidad de material que debe utilizarse es excesiva y poco rentable y en estos casos, por lo tanto, se utilizan materiales inertes convencionales de bloqueo. También existe la posibilidad de que un hinchado no deseado de esta masa que se hincha con agua (incluso en presencia de pequeños porcentajes de humedad relativa) podría dar lugar a fenómenos de atenuación de la señal transmitida, debido a las presiones distribuidas de manera irregular en la superficie de las fibras ópticas, incluso en condiciones que de otra forma no dañarían el funcionamiento del cable.

[0022] Además, tal como se ha observado por el solicitante, las fibras ópticas en contacto con el material en partículas con partículas de tamaño superior a aproximadamente 1 µm de tamaño pueden estar sujetas a fenómenos de micropliegues, como resultado de lo cual, la inserción de elementos tales como tiras o hilos que contienen polvos que se hinchan en agua en contacto directo con las fibras presenta riesgos apreciables para aumentar la atenuación, incluso independientemente de la presencia de humedad.

[0023] En el caso de las tiras de fibra óptica recubiertas con una película de material que se hincha en agua, descritas en la patente US 4.767.184, el solicitante ha observado que si los materiales que se hinchan en agua que se utilizan tienden a hincharse, incluso en un grado muy pequeño, en presencia de porcentajes relativamente bajos de humedad relativa, que en sí mismos no serían perjudiciales para las fibras ópticas, este hinchado puede resultar en la distribución irregular de la presión sobre la fibra recubierta con este material, o un exceso de anillado de la fibra óptica, siendo ambos inconvenientes que pueden dar lugar a fenómenos de atenuación de la señal transmitida.

[0024] La patente US 4.837.077 describe la protección de un cable del ingreso agua mediante el uso de un material hidroexpandible, que está formado del 5 al 23% en peso de un aglutinante hidrosoluble, tal como un agente de sellado en cables. El uso de este material compuesto en la industria de la fibra óptica también se indica.

[0025] La solicitud de patente EP 395.838 describe un cable eléctrico u óptico situado fuera de un núcleo, teniendo dicho cable una funda y una barrera de difusión que consiste en una película de plástico y cubierta por la funda, que se caracteriza por el hecho de que la barrera de difusión consiste en una película de polímero de cristal líquido que impide la penetración de humedad en el cable.

[0026] El solicitante también ha observado que después de que se ha expandido, un material hinchable no es capaz de rellenar correctamente todos los intersticios dentro del cable, en particular en el caso de que los espacios a cubrir sean de forma muy irregular, tal como, por ejemplo, las áreas en forma de estrella creadas mediante el enrollado de elementos ópticos tubulares, los espacios entre las fibras ópticas, y similares. De esta manera, el riesgo permanece en estos espacios, incluso después de que el material hinchable asociado con los mismos haya alcanzado el grado de expansión máximo posible, permanecen canales en la estructura del cable, aunque de tamaño reducido, a través de cuyos canales el agua puede correr libremente.

[0027] Además, el hinchado completo de los materiales que se hinchan en agua típicamente requiere una cierta cantidad de tiempo, durante el cual el flujo de agua no está completamente bloqueado y esto puede dar lugar a que una considerable longitud de cable se vea afectado por la penetración longitudinal del agua, en particular en el caso donde la fracción vacía de la cavidad en cuestión es grande.

[0028] Finalmente, cualquiera de las soluciones anteriores que se practican en la técnica anterior implica la inserción de un elemento adicional (tal como polvos, cintas, láminas, etc.) en la estructura del cable. Esto se traduce generalmente en la introducción de etapas adicionales en el proceso de fabricación del cable, así como en posibles operaciones complicadas al conectar los extremos del cable y/o reparar las partes dañadas de dicho cable.

[0029] Según la presente invención, se ha encontrado que se puede hacer un cable que no tiene elementos de tipo fluido o pulverulento para bloquear el flujo de agua combinando las cavidades presentes en este cable con un material sólido capaz de disolverse en el agua que penetra para formar, con esta agua, una solución que sea lo suficientemente viscosa para bloquear o por lo menos impedir en gran medida este flujo de agua. En particular, dicho material sólido puede formarse ventajosamente en un elemento estructural del cable óptico, tal como un tubo o un núcleo ranurado, apto para contener y proteger las fibras ópticas.

[0030] Un aspecto de la presente invención, por lo tanto, se refiere a un cable de fibra óptica que comprende una cavidad longitudinal que se extiende a lo largo de la longitud del cable, por lo menos una fibra óptica dispuesta en el interior de dicha cavidad, comprendiendo también dicha cavidad longitudinal un elemento sólido y compacto asociado con esta cavidad, caracterizado por el hecho de que dicho elemento sólido y compacto comprende aproximadamente un 30% en peso o más de un material de polímero soluble en agua que, después de una entrada accidental de agua en el cable, es capaz de formar una solución acuosa con una viscosidad predeterminado tal como para bloquear el flujo de agua en 10 metros del punto de entrada. Preferiblemente, este elemento sólido y compacto comprende aproximadamente un 50% de dicho material de polímero soluble en agua. De acuerdo con una realización particularmente preferida, este elemento sólido y compacto está formado por más de aproximadamente un 75% de dicho material de polímero soluble en agua.

[0031] Preferiblemente, dicha solución acuosa que tiene una viscosidad de al menos 10^4 cP (centipoise) a 20°C aproximadamente.

[0032] En una realización preferida, dicho elemento sólido y compacto es un elemento estructural del cable apto para contener y proteger a la por lo menos una fibra óptica dispuesta dentro de dicha cavidad longitudinal. De acuerdo con una realización preferida, dicho elemento sólido y compacto que contiene la por lo menos una fibra óptica es un elemento tubular y dicha cavidad longitudinal está definida por el volumen interno de dicho elemento tubular. Preferentemente, dicho elemento tubular comprende una pared de doble capa en la que la capa interna está hecha de dicho material sólido soluble en agua y la capa externa está hecha de un material de polímero convencional insoluble en agua. Según una realización preferida adicional, dicho elemento tubular comprende una tercera capa externa hecha de material sólido soluble en agua. Según una realización alternativa, dicho elemento tubular está hecho de una única funda de dicho material sólido soluble en agua.

[0033] Según una realización alternativa, dicho elemento estructural apto para contener la por lo menos una fibra óptica es un núcleo ranurado que comprende al menos una ranura longitudinalmente dispuesta en la superficie externa de dicho núcleo y la cavidad longitudinal está definida por el volumen interno dentro de dicha ranura. De acuerdo con una realización de la presente invención, por lo menos las paredes de dicha ranura están hechas de un material de polímero sólido soluble en agua. Según una realización alternativa, dicho núcleo ranurado está hecho completamente de dicho material de polímero sólido soluble en agua.

[0034] De acuerdo con otra realización alternativa, el elemento de material sólido soluble en agua incluido en un cable de acuerdo con la presente invención es una cinta.

[0035] Según un aspecto adicional, un cable de acuerdo con la presente invención comprende al menos una funda de material de polímero dispuesta para formar dicha cavidad y al menos un elemento sólido de material de polímero soluble en agua colocado en el interior de esta funda, caracterizado por el hecho de que en presencia de una humedad relativa mayor de un 75% aproximadamente fuera de esta cavidad, la humedad relativa dentro de esta cavidad se mantiene por debajo de aproximadamente el 75% durante un período de tiempo predeterminado. Preferiblemente, dicho período de tiempo predeterminado es de al menos veinte años.

[0036] Otro aspecto adicional preferido de la presente invención se refiere a un cable tal como se ha

definido anteriormente, caracterizado por el hecho de que, en presencia de una humedad relativa substancialmente inferior o igual al 80%, dicho material de polímero soluble en agua absorbe una cantidad de agua de menos de aproximadamente un 25% de la cantidad de agua que puede ser absorbida mediante el material sólido soluble en agua bajo condiciones de saturación.

- 5 **[0037]** De acuerdo con una realización preferida, la relación entre la sección transversal de dicha cavidad y la fracción de perímetro de esta cavidad delimitada por el elemento sólido de material soluble en agua mencionado anteriormente es inferior a 0,5 mm. Preferiblemente, cuando la viscosidad de dicha solución acuosa es por lo menos de aproximadamente 104 cP, la relación entre la sección transversal de dicha cavidad y la fracción de perímetro de esta cavidad delimitada por dicho elemento sólido de material soluble en agua es inferior a aproximadamente 0,4 mm.
- 10 **[0038]** Según una realización preferida adicional, la sección transversal del elemento sólido de material soluble en agua no es inferior al 10% de la sección transversal libre de la cavidad con la que se asocia dicho elemento, siendo esta sección transversal preferiblemente de al menos el 20%, en particular, hasta un 40%, de dicha sección transversal libre.
- 15 **[0039]** Según una realización preferida adicional, un cable de acuerdo con la presente invención se caracteriza por el hecho de que el material de polímero soluble en agua asociado con la cavidad de dicho cable es también hinchable con el agua. Preferiblemente, este material se hincha por lo menos un 5% en relación con el volumen original, cuando se pone en contacto con agua durante unos cuatro minutos aproximadamente.
- 20 **[0040]** Según una realización preferida, el material de polímero soluble en agua del elemento sólido asociado con la cavidad longitudinal tiene una solubilidad en agua por lo menos de 100 g/l aproximadamente. Preferiblemente, dicho material es capaz de formar una solución acuosa con una viscosidad de al menos 10^4 cP a 20°C aproximadamente. Preferiblemente, la solución acuosa contiene una cantidad de material de polímero de entre 100 g/l aproximadamente y 250 g/l aproximadamente.
- 25 **[0041]** Preferiblemente, dicho material de polímero soluble en agua contenido en un cable de acuerdo con la presente invención tiene una carga de rotura superior a 15 MPa aproximadamente y un módulo de elasticidad superior a 100 MPa aproximadamente.
- 30 **[0042]** De acuerdo con una realización preferida, dicho material de polímero soluble en agua contenido en un cable de acuerdo con la presente invención se selecciona del grupo que consiste en poliácridamida, alcohol de polivinilo modificado, copolímeros de alcohol vinílico y acetato de vinilo y polivinilpirrolidona, y mezclas de los mismos. Preferiblemente, este material es un copolímero de alcohol de vinilo/acetato de vinilo.
- [0043]** De acuerdo con una realización particularmente preferida, dicho copolímero se puede obtener mediante hidrólisis parcial de los grupos acetato de un homopolímero de acetato de polivinilo. Preferiblemente, el grado de hidrólisis de los grupos acetato del homopolímero de acetato de polivinilo está entre un 50% y un 95%, más preferiblemente entre un 70% y un 90%.
- 35 **[0044]** Ventajosamente, dicho copolímero de alcohol vinílico y de acetato vinilo tiene un índice de viscosidad mayor de aproximadamente 5. Preferiblemente, el índice de viscosidad del copolímero es entre 8 y 40, siendo los copolímeros de alcohol de vinilo y acetato de vinilo con un índice de viscosidad de entre 10 y 30 más preferido.
- 40 **[0045]** Para los propósitos de la presente invención, la expresión elemento compacto sólido está pensada para referirse a un elemento que consiste en un material, o una mezcla de materiales, que, a las temperaturas de trabajo del cable (y en la ausencia casi total de agua), no es fluido, fibroso o pulverulento, y tiene propiedades mecánicas, tales como módulo elástico, carga de rotura, elongación a la rotura y similares, que son similares a las de los materiales de polímero convencionales empleados para hacer los elementos estructurales del cable, como, por ejemplo, núcleos, fundas o elementos tubulares que contienen fibras ópticas. El término "materiales convencionales" hace referencia en la presente descripción a aquellos materiales típicamente empleados en la técnica para la fabricación de los elementos estructurales anteriores y comprenden dentro de su significado, aunque no se limita a los mismos, materiales de polímero tales como poliolefinas, por ejemplo polietileno (PE de alta, media y baja densidad), polipropileno (PP) o copolímeros de etileno-propileno (PEP), tereftalato de polibutileno (PBT), cloruro de polivinilo (PVC) o poliamidas (PA).
- 45 **[0046]** La expresión "elemento sólido que comprende más de un 75% aproximadamente de un material polímero soluble en agua" está pensada para significar que este elemento sólido está hecho principalmente de un material de polímero soluble en agua, con la adición opcional de otros componentes menores, tales como, por ejemplo, rellenos, plastificantes, pigmentos, tintes, agentes de procesamiento, biocidas o estabilizadores, presentes en una cantidad menor de aproximadamente el 25% en peso, preferentemente menor del 10% aproximadamente.
- 50 **[0047]** En la presente descripción, el término material de bloqueo de agua, o propiedades de bloqueo de agua, está pensado típicamente para referirse a un material capaz de bloquear la propagación longitudinal del agua en el interior del cable dentro de una longitud predeterminada de este cable. Preferiblemente, esta longitud es menor

o igual a 10 metros.

[0048] El término “material que absorbe agua” está pensado para hacer referencia a un material que tiende a absorber agua del medio circundante.

5 **[0049]** En la presente descripción, el término “material que se hincha en agua” o “hinchable” está pensado para hacer referencia a un material que absorbe agua que, cuando se pone en contacto con agua, aumenta de volumen, después de la absorción de una cantidad dada de agua, aunque permanece en estado sólido. Este aumento de volumen depende del tipo de material, del tiempo de contacto de este material con el agua y de la cantidad de agua absorbida. Esta definición incluye materiales que, en contacto con el agua, muestran un aumento de volumen de al menos un 5% en relación con el volumen original, hasta un aumento de más del 100% en relación con el volumen original de las sustancias con absorción de agua particularmente alta.

10 **[0050]** El término “material soluble en agua” está pensado para significar que el material de bloqueo de agua utilizado en un cable de acuerdo con la presente invención es capaz de, al menos parcialmente, disolverse en contacto con el agua, creando una solución acuosa con un valor de viscosidad predeterminado. En particular, la viscosidad de la solución que forma será tal que impide el flujo de dicha solución en el cable. Preferiblemente, esta solución tiene una viscosidad tal que esencialmente bloquea un flujo de agua que ha penetrado en una cavidad, a una distancia menor de aproximadamente diez metros desde el punto de entrada de dicha agua.

[0051] Una mejor comprensión de la presente invención se obtendrá a partir de la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

20 - La figura 1 es una sección transversal esquemática de un ejemplo de un cable de fibra óptica de acuerdo con la invención, del tipo que contiene un elemento tubular con un soporte central;

- La figura 2 es una sección transversal de un elemento tubular de un cable según la invención, con un recubrimiento de dos capas que contienen fibras ópticas;

- La figura 3 es la misma sección transversal del elemento tubular que en la figura 2, después de la entrada de agua;

25 - La figura 4 es una sección transversal esquemática de otro ejemplo de un cable de fibra óptica de acuerdo con la invención, del tipo con un núcleo ranurado;

- La figura 4a es una realización alternativa de un cable representado en la figura 4;

- La figura 5 es un gráfico de la viscosidad de un polímero soluble en agua en función de su concentración en una solución acuosa.

30 **[0052]** Un cable del denominado tipo de elemento tubular (en particular, del tipo de tubo holgado), representado en la figura 1, tiene, en la posición radialmente más interna, un elemento de soporte que comprende un elemento de refuerzo, típicamente hecho de resina de vidrio (5), recubierto con una capa (6) de polímero, hasta un diámetro determinado.

35 **[0053]** El cable tiene uno o más elementos tubulares o tubos (7), envueltos alrededor del elemento de soporte (5) y alrededor de su capa de recubrimiento (6), en cuyo interior están situadas las fibras ópticas (3) dispuestas de forma individual, o montadas en haces, cintas, mini-tubos (es decir, una micro-funda que rodea un haz de fibras ópticas) y similares.

40 **[0054]** El número de elementos tubulares presentes (que también pueden colocarse en varias capas) y las dimensiones de estos elementos tubulares dependerán de la capacidad prevista del cable, así como sobre las condiciones de uso de este cable.

[0055] Por ejemplo, los cables se prevén con un solo elemento tubular (en cuyo caso el elemento central (5) y su recubrimiento (6) no están presentes), y cables previstos con seis, ocho o más elementos tubulares, envueltos en una o más capas (por ejemplo hasta 24 elementos tubulares agrupados en dos capas).

45 **[0056]** Los elementos tubulares (7) se mantienen a su vez juntos en una capa de contención (8) hecha, por ejemplo, por envoltura, y preferiblemente se combinan con un elemento de refuerzo (9), por ejemplo una capa de fibras de Kevlar® o de hilo de vidrio, cuyo tamaño depende de los requisitos de resistencia mecánica del cable.

[0057] Dos filamentos que dividen la funda (10), dispuestos longitudinalmente respecto al cable, se pueden incluir en la capa de refuerzo (9).

50 **[0058]** Finalmente, el cable comprende una funda de protección externa (11), típicamente hecha de polietileno. En relación con los requisitos específicos, también pueden estar presentes más capas de protección, por ejemplo, de capas de metal, ya sea dentro o fuera de la estructura descrita.

[0059] Según una realización ilustrativa de la presente invención, en un cable con la estructura descrita

anteriormente, los elementos tubulares (7) se puede hacer con una pared de doble capa, en la que la capa interna (7b) está hecha de un material sólido con propiedades de bloqueo de agua y la capa externa (7a) está hecha de un material convencional tal como tereftalato de polibutileno (PBT), polipropileno (PP), polietileno (PE) o de copolímero de etileno-propileno (PEP).

- 5 **[0060]** La figura 2 muestra un elemento tubular (7) con una pared de dos capas (producida, por ejemplo, mediante coextrusión), la más externa de las cuales (7a) está hecha de un material de polímero convencional (por ejemplo, PE, PP, PEP o PBT), mientras que la más interna (7b) está hecha de un material de polímero sólido soluble en agua. El espacio en el interior del tubo, no ocupado por las fibras ópticas, está típicamente vacío.
- 10 **[0061]** Una o más fibras ópticas (3) están dispuestas en el interior del elemento tubular, típicamente sueltas, separadas o juntas en forma de cintas de fibra, de mini-tubos o similares.
- [0062]** El material que forma la capa interna (7b) del elemento tubular es un material sólido que se puede extrudir con propiedades mecánicas más o menos similares a las de la capa externa (7a), de manera que, preferentemente, el espesor de todo elemento tubular no es diferente al espesor típico de un elemento tubular con una sola capa convencional.
- 15 **[0063]** Típicamente, por ejemplo, un elemento tubular con un diámetro externo de 3 mm puede tener una pared con un espesor total de aproximadamente 0,6-0,7 mm, dividida en partes casi iguales entre la capa interna soluble en agua (7b) y la capa externa convencional (7a).
- 20 **[0064]** En el caso de la entrada accidental de agua, el material de polímero soluble en agua de la capa interna (7b) del elemento tubular de doble capa se disuelve, al menos parcialmente, en el agua que penetra, empezando desde la posición original (representada por la línea discontinua en la figura), tal como se muestra en la figura 3, formando una solución viscosa (4) que se mueve entre las fibras, llenando así los espacios libres (generalmente, de perfil irregular), independientemente de su forma, hasta que toda la sección transversal libre del elemento tubular ha sido ocluida.
- 25 **[0065]** Mediante una elección apropiada de las propiedades del material soluble en agua de la capa (7b), la solución acuosa así formada tiene una viscosidad que es suficientemente alta como para impedir la propagación posterior de agua a lo largo del cable, hasta que esta propagación se bloquea en unos pocos metros desde el punto de entrada del agua.
- 30 **[0066]** De esta manera, sin la introducción de materiales adicionales en el elemento tubular, tales como polvos, líquidos de bloqueo y similares, que implicaría, entre otras cosas, un aumento substancial en el peso del cable, se obtiene el bloqueo de la propagación de agua que ha penetrado accidentalmente en el cable.
- [0067]** Además de la sección transversal libre dentro de los elementos tubulares (7), la estructura del cable descrito comprende áreas (8a) fuera de los elementos tubulares, usualmente descritas como áreas en forma de estrella, a través de las cuales puede pasar el agua que ha penetrado accidentalmente en el cable.
- 35 **[0068]** De acuerdo con la presente invención, la capa de polímero (6) para recubrir el elemento central (5) está hecha ventajosamente, totalmente o en capas externas, de un material sólido soluble en agua que tiene las propiedades mencionadas anteriormente.
- 40 **[0069]** Esta capa de recubrimiento (6) se puede hacer por extrusión (coextrusión en el caso donde se proporcionan una capa más interna de tipo convencional y una capa más externa de material de polímero de bloqueo de agua sólido), o por la aplicación de una cinta compacta (longitudinal o helicoidal) de material de polímero de bloqueo de agua sólido sobre el elemento central (5) (que opcionalmente ya puede estar parcialmente recubierto).
- [0070]** Si es apropiado, una capa externa de los elementos tubulares (7) también puede preverse que sea de material de bloqueo de agua, o alternativamente todo el elemento tubular puede ser de un material de bloqueo de agua.
- 45 **[0071]** Si se desea, la capa de contención (8), según la presente invención, se puede hacer (totalmente o parcialmente) mediante envoltura con una cinta compacta de material de polímero de bloqueo de agua sólido, o alternativamente con una capa extrudida del mismo material.
- 50 **[0072]** La presencia de capas de material de polímero soluble en agua sólido en las capas (6) y (8) y el tamaño de dicho material de polímero soluble en agua sólido en estas capas se determinan mediante las secciones transversales libres presentes (por ejemplo las áreas en forma de estrella (8a) mencionadas anteriormente) y mediante los requerimientos para bloquear el flujo de agua en el cable en espacios más o menos estrechos.
- [0073]** A su vez, la capa de refuerzo (9) puede comprender filamentos o varillas de material de polímero soluble en agua sólido del tipo mencionado anteriormente.
- [0074]** Además, o como alternativa a las varillas o filamentos que se pueden incluir en la capa de refuerzo

(9), la funda (11) se puede formar en dos capas, que comprende una capa interna (11a) de material sólido soluble en agua.

[0075] Sobre la base de los principios mencionados anteriormente, la presente invención también se puede aplicar a un cable con un núcleo ranurado.

5 **[0076]** Un cable con un núcleo ranurado, tal como se indica en la figura 4, tiene, en la posición radialmente más interna, un elemento de refuerzo (12) hecho, por ejemplo, de resina de vidrio, en el que está presente un núcleo ranurado (13) (que está típicamente extrudido), hecho de un material sólido soluble en agua según la invención. Las ranuras (14) se extienden en una espiral continua o en una trayectoria s-z alterna en todo el camino a lo largo de toda la superficie externa de dicho núcleo, para alojar las fibras ópticas (3) en su interior; de una
10 manera similar a lo que se menciona anteriormente, las fibras ópticas (3) se pueden colocar individualmente o montarse en cintas, mini-tubos y similares, de manera suelta (es decir, con un exceso de longitud) o de manera ajustada en la parte inferior de las ranuras.

[0077] Según una realización alternativa, dicho núcleo ranurado se puede hacer sólo en parte del material de polímero soluble en agua, tal como se muestra en la figura 4a. En este caso, un núcleo ranurado de doble capa se fabrica (por ejemplo, mediante doble extrusión o coextrusión de las dos capas de polímero), en donde la porción interna (13a) del núcleo está hecha de un material de polímero convencional (por ejemplo, PE o PP) y la porción ranurada externa (13b) está hecha de un material soluble en agua según la invención.

[0078] Alternativamente, el núcleo ranurado (13) se puede hacer completamente de un material convencional, tal como PE o PP. En este caso, elementos especiales en forma de U (15) hechos de material soluble en agua se pueden colocar en sus ranuras, siendo posible, por ejemplo, que estos elementos se coextrudan con el núcleo ranurado o se produzcan por separado y posteriormente se insertan en las ranuras.

[0079] Como ejemplo, el núcleo ranurado puede tener un diámetro entre 4 y 12 mm y puede comprender de 1 a 10 ranuras, dependiendo de la capacidad del cable deseado. Las dimensiones de las propias ranuras se determinan por el número de fibras presentes en las mismas (que se pueden montar como cintas de fibras) y por el
25 grado de libertad previsto para estas fibras.

[0080] El núcleo ranurado (13) se recubre entonces con una capa (16) de polímero, que consiste preferentemente en material sólido soluble en agua, que cierra las ranuras; este recubrimiento puede hacerse en forma de una funda extrudida o como una envoltura longitudinal o helicoidal.

[0081] Esta capa, a su vez, puede estar rodeada por una cinta de refuerzo adicional (17) hecha, por ejemplo, de poliéster, y a continuación se rodea con una capa de refuerzo o blindaje hecha, por ejemplo, de Kevlar® (18), que puede incorporar filamentos o varillas hechas de material sólido soluble en agua.

[0082] Una envoltura adicional (19) hecha, por ejemplo, de poliéster rodea el blindaje (18) y se está rodeado por una funda externa (21) típicamente hecha de polietileno; una capa de material sólido soluble en agua (20) se puede colocar bajo la funda externa (21) y en todas las zonas que posiblemente puedan ser alcanzadas por
35 el agua.

[0083] Tal como se mencionó anteriormente, para los propósitos de la presente invención, un elemento sólido y compacto que comprende un material sólido soluble en agua debe ser tal que, a las temperaturas de trabajo del cable (y en ausencia substancial de agua), no es fluido, fibroso o pulverulento, y tiene propiedades mecánicas, tales como módulo elástico, carga de rotura, alargamiento a la rotura y similares, comparables con las de los materiales utilizados para fabricar los elementos del cable. En consecuencia, los elementos del cable óptico hechos a partir de dicho material pueden reemplazar ventajosamente uno o más elementos estructurales de un cable óptico (por ejemplo, fundas de cubierta, tubos, núcleos ranurados, etc.) que están típicamente hechos de materiales de polímero convencionales. Al mismo tiempo, las propiedades de solubilidad en agua de este material deben ser tales que formen una solución acuosa de viscosidad suficiente, para bloquear el flujo de agua bajo las condiciones previstas. En particular, las propiedades descritas anteriormente también serán tales en el caso preferido, en el que dicho elemento sólido está hecho esencialmente (es decir, para más de aproximadamente un 75%) de un material de polímero soluble en agua.

[0084] Además, un material soluble en agua de acuerdo con la invención preferentemente debe poderse extrudir fácilmente en uno de los elementos sólidos y compactos mencionados anteriormente.

50 **[0085]** El elemento sólido y compacto asociado con la cavidad longitudinal en la que se desea bloquear el flujo de agua comprenderá al menos un 30% en peso, y preferiblemente al menos un 50% en peso, de material de polímero soluble en agua. Este elemento sólido con una función de bloqueo de agua puede contener así, además del material de polímero soluble en agua mencionado anteriormente, otros materiales que ventajosamente se pueden mezclar con este polímero soluble en agua, tal como, por ejemplo, otros materiales de polímero compatibles o aditivos de polímero convencionales, tales como materiales de relleno, por ejemplo, negro de carbón o rellenos inorgánicos (por ejemplo, carbonato de calcio o hidróxido de magnesio), estabilizadores, pigmentos o colorantes y plastificantes. De acuerdo con una realización preferida, este elemento sólido y compacto consiste esencialmente,

es decir, más de un 75% en peso aproximadamente, en un material de polímero soluble en agua, estando representada la porción restante de la composición por aditivos convencionales para composiciones poliméricas. Preferiblemente, por lo menos el 5% del peso total de la composición es un plastificante.

[0086] El solicitante ha observado que, en un cable de acuerdo con la presente invención, como la viscosidad de la solución formada a partir del material soluble en agua aumenta, es posible aumentar las dimensiones de la cavidad en cuyo interior se realiza el bloqueo del agua y/o reducir el tiempo necesario para bloquear este flujo de agua.

[0087] En particular, el solicitante ha observado que para bloquear adecuadamente el paso del agua, es particularmente ventajoso utilizar un material polimérico soluble en agua que forma soluciones acuosas que alcanzan valores de viscosidad de aproximadamente 10^4 cP (centipoises), medida a una temperatura de 20°C con un viscosímetro Höppler de esfera que cae, preferentemente de entre 10^4 y 10^5 cP.

[0088] Para este propósito, es necesario que una cantidad suficiente del material soluble en agua de la capa (2) se disuelva en agua y que la solución así formada para tener la viscosidad requerida.

[0089] Se ha observado, durante las pruebas de propagación de agua a lo largo de elementos tubulares que contienen fibras ópticas que consisten en diversos materiales que bloquean el agua y materiales solubles en agua según la invención, en el caso de polímeros solubles en agua que forman soluciones con viscosidades de aproximadamente 10^4 cP, que para bloquear la propagación dentro de los primeros diez metros de elementos tubulares (y en unos pocos minutos) la relación entre la sección transversal de la cavidad disponible para el avance del fluido (en mm^2) y la fracción de su perímetro que consiste en material soluble en agua (en mm) (ambos medidos en ausencia de agua) debe ser menor o igual a 0,3 mm.

[0090] En el caso de soluciones con una viscosidad de aproximadamente 10^5 cP, esta proporción puede aumentar a aproximadamente 0,4-0,5 mm.

[0091] Ventajosamente, para alcanzar los valores de la viscosidad deseados, se utilizan materiales de polímero cuyas soluciones acuosas tienen una viscosidad de aproximadamente 10^4 cP en concentraciones de entre 100 g/l y 250 g/l aproximadamente, medida a 20°C, preferiblemente entre aproximadamente 120 g/l y aproximadamente 200 g/l, siendo particularmente preferidos los que forman soluciones con viscosidades de aproximadamente 10^4 cP en concentraciones de entre 130 g/l y 180 g/l aproximadamente.

[0092] Para los propósitos de la presente invención, se prefieren así materiales de polímero solubles en agua que tienen una solubilidad en agua a 20°C de al menos 100 g/l, preferiblemente de al menos 200 g/l, siendo particularmente preferidos materiales, con una solubilidad de aproximadamente 300 g/L o más.

[0093] El solicitante ha observado además que parte del agua que interactúa con el polímero soluble en agua para formar la solución de la viscosidad deseada se incorpora en dicho polímero, dando lugar a un hinchado parcial de este polímero. Típicamente, se ha observado que, dentro de los tiempos típicos para bloquear o desacelerar substancialmente el flujo de agua, estos polímeros solubles en agua pueden absorber de aproximadamente el 10% a aproximadamente el 25% en peso de agua, con el consiguiente hinchado en aproximadamente un 5-10% de su volumen original. Este hinchado del polímero, aunque limitado, sin embargo puede contribuir a la reducción de la sección transversal para el paso de agua, haciendo así más fácil que la solución de polímero de alta viscosidad formada para bloquear el flujo. Después de esto, otro contacto del polímero con el agua presente puede dar lugar a un hinchado adicional del polímero, lo que restringe aún más la sección para el paso del agua, aumentando así la eficacia de bloqueo de la solución de polímero. Entre los materiales de polímero solubles en agua que pueden utilizarse ventajosamente en un cable de acuerdo con la presente invención, los preferidos serán así los que tengan propiedades que se hinchen en agua, es decir, capaces de incorporar una cierta cantidad de agua en su interior, dando lugar a hinchado considerable dentro de los tiempos deseados, típicamente de al menos un 5% después de aproximadamente 4 minutos de contacto con el agua, siendo así capaces estos materiales de contribuir al bloqueo del flujo del agua mediante la solución de polímero.

[0094] En vista de las observaciones anteriores, tomando el caso de un elemento sólido que consiste esencialmente en un material de polímero soluble en agua, y suponiendo la disolución total de este material de polímero en el agua que penetra, se puede calcular que la cantidad de material presente por unidad de longitud debe ser tal que ocupa al menos el 10% aproximadamente de la sección transversal libre de la cavidad a través de la cual el agua puede fluir, para formar una solución con una concentración que es suficiente para obtener la viscosidad deseada. Por ejemplo, en el caso de un elemento tubular con un diámetro interior a aproximadamente 2 mm (sección transversal de aproximadamente $3,14 \text{ mm}^2$), una cantidad de material soluble en agua se puede utilizar de tal manera que ocupe una sección transversal de al menos $0,314 \text{ mm}^2$ aproximadamente. Este material puede colocarse dentro de la cavidad, por ejemplo, como un filamento sólido de 0,63 mm de diámetro o como una película de polímero colocada, preferentemente extrudida, sobre la superficie interna del elemento tubular, en aproximadamente 0,05 mm de espesor. Si una o más fibras ópticas se encuentran en el interior del elemento tubular, la sección transversal interna libre de este elemento tubular será menor, haciendo así posible para limitar aún más la cantidad de material soluble en agua que se utilizará.

- [0095]** Por otro lado, como, en algunos casos, puede requerirse una concentración de material de hasta 250 g/l para alcanzar la viscosidad deseada, puede ser preferible aumentar la cantidad de material soluble en agua por unidad de longitud del cable. Típicamente, es así ventajosamente posible utilizar una cantidad de material soluble en agua que es tal que ocupa al menos el 20% aproximadamente de la sección transversal libre de la cavidad en la que el agua puede fluir, hasta una cantidad que es tal que ocupa aproximadamente el 40% de la sección transversal libre. Un nuevo aumento en la cantidad de material soluble en agua puede preverse para diseños de cables específicos en los que es deseable una mayor cantidad de material de bloqueo de agua.
- [0096]** El solicitante ha observado además que una serie de materiales de bloqueo de agua elegidos para hacer un cable de acuerdo con la presente invención forman una solución acuosa que aumenta substancialmente su viscosidad con el tiempo, hasta que se produce un gel que además contribuye a mantener la condición de bloqueo de agua a lo largo del tiempo.
- [0097]** El solicitante ha observado que para obtener la solubilidad deseada, es preferible que el polímero soluble en agua no sea reticulado, de manera que las varias macromoléculas son relativamente independientes entre sí, para permitir que el agua disuelva cantidades suficientes de material de polímero.
- [0098]** Entre los materiales sólidos solubles en agua que se pueden utilizar en un cable de acuerdo con la presente invención, los preferidas son los que, hasta valores de humedad relativa (HR) relativamente altos, típicamente de aproximadamente 75-80%, absorben sólo pequeñas cantidades de agua, típicamente menos de un 25% en peso de la cantidad que puede ser absorbida por el material en condiciones de saturación (HR = 100%).
- [0099]** Por ejemplo, cuando se coloca en una atmósfera a aproximadamente un 75% de humedad relativa, los materiales utilizados en un cable de acuerdo con la invención muestran un aumento de peso (debido a la absorción de agua) de aproximadamente un 10%, incluso después de una prueba de más de 1000 horas. Cuando se coloca en una atmósfera con un valor de humedad relativa del 100%, los mismos materiales muestran incrementos de peso de aproximadamente un 30% en peso después de una prueba por sólo unas 100 horas, alcanzando aumentos de más del 60% después de una prueba durante aproximadamente 800 horas.
- [0100]** Esta propiedad de la materia es particularmente ventajosa, ya que, como las fibras ópticas son relativamente insensibles a la presencia de vapor de agua hasta valores de humedad relativa de menos del 75-80% aproximadamente, por debajo de estos valores es ventajoso para que el material soluble en agua sea más o menos igual.
- [0101]** El hecho de que el material es prácticamente insensible a estos valores de humedad relativa relativamente bajos permite una mejor capacidad de procesamiento y menos problemas de almacenamiento del producto acabado, ya que no es necesario protegerlo de la humedad ambiente, que es generalmente inferior al 75%.
- [0102]** Además, gracias a esta propiedad, el material se mantiene casi totalmente disponible para bloquear agua en el caso de una entrada de agua en estado líquido o un aumento en la humedad relativa por encima del umbral crítico, sin que ninguna parte de este material tenga que interactuar innecesariamente con el agua en estado de vapor por debajo del umbral crítico para la humedad relativa, e incluso sin sufrir innecesariamente el hinchado para resultar en una compresión no deseada de las fibras ópticas.
- [0103]** El solicitante ha observado además que, entre los materiales de bloqueo de agua y solubles en agua que se pueden utilizar en un cable de acuerdo con la presente invención, es particularmente ventajoso usar materiales que, cuando se colocan en un alojamiento que contiene fibras ópticas, proporcione a este alojamiento propiedades higrostáticas. La razón de esto es que cuando el ambiente fuera de la estructura del cable en el que están alojadas las fibras ópticas (por ejemplo, un elemento tubular de material plástico) supera el umbral crítico de humedad relativa (75-80%), un material de acuerdo con la presente invención colocado dentro de la estructura de cable en una cantidad adecuada es capaz de mantener, alrededor de las fibras ópticas, valores de humedad relativa que son inferiores a los valores críticos.
- [0104]** Por ejemplo, cuando los elementos tubulares convencionales para contener fibras ópticas, hechos de por ejemplo, tereftalato de polibutileno (PBT), polipropileno (PP) o polietileno (PE), están en una atmósfera con una humedad relativa alta (por ejemplo 95%), la humedad externa tiende a permear hacia el centro de estos elementos tubulares en los que las fibras ópticas están alojadas; bajo estas condiciones, se alcanzan valores de humedad relativa superiores al 80% dentro de los elementos tubulares en unos pocos meses, con la posibilidad de que produzcan los inconvenientes mencionados anteriormente.
- [0105]** Si, por otro lado, este elemento tubular de contención tiene una estructura de dos capas de acuerdo con la presente invención, en la que la capa externa está hecha de un material de polímero convencional y la capa interna está hecha de un material que absorbe agua con las propiedades mencionadas, se ha observado que la humedad relativa en el interior del elemento tubular aumenta mucho más lentamente que en el caso del elemento tubular hecho completamente de material convencional.
- [0106]** Si, además, este elemento tubular está a su vez contenido en una funda contenedora hecha de un polímero de tipo convencional, la humedad relativa en el interior del tubo puede permanecer por debajo del umbral

crítico tanto como unos 20-25 años, que corresponde a la vida útil promedio esperada de un cable óptico.

[0107] Un comportamiento similar se encuentra también si el elemento tubular que contiene las fibras ópticas consiste en una sola capa de material soluble en agua y el elemento tubular a su vez está alojado en una funda contenedora hecha de material de polímero convencional.

5 **[0108]** La presencia dentro de la estructura del cable de elementos adicionales hechos esencialmente del material soluble en agua de la invención, como, por ejemplo, cintas o filamentos intersticiales (u otros elementos que se describen en mayor detalle en la descripción a continuación), pueden aumentar más el tiempo necesario para alcanzar el umbral crítico de humedad relativa.

10 **[0109]** De acuerdo con la presente invención, los polímeros que pueden utilizarse ventajosamente como materiales de bloqueo de agua son típicamente polímeros que son sólidos a temperatura ambiente (o a las temperaturas de trabajo del cable), que se pueden extrudir o procesar de alguna otra manera, capaces de disolverse en agua para formar una solución de viscosidad suficiente. Preferiblemente, estos materiales presentan una reducida absorción de agua en presencia de valores de humedad relativa de menos de aproximadamente 75-80% y/o tienen propiedades higroscópicas respecto a la cavidad en la que se están contenidos o con los que están asociados.

[0110] Estos polímeros típicamente comprenden en su estructura uno o más grupos hidrofílicos tales como los mencionados a continuación:

- grupo hidroxilo (-OH)
- grupo éter (-COC-)
- 20 - grupo éster (-CO-O-)
- grupo amino (-NH₂)
- grupo carboxílico (-COOH)
- grupo amida (-CO-NH-).

25 **[0111]** Ejemplos de estos polímeros son ácido poliacrílico, poliacrilamida, copolímeros de poliacrilamida/ácido acrílico, ácido metacrílico, polivinilpirrolidona y polímeros derivados de alcohol de polivinilo, tales como copolímeros esterificados o eterificados de alcohol polivinílico y, en particular, copolímeros de alcohol de vinilo y acetato de vinilo.

[0112] Entre los materiales mencionados anteriormente, se prefiere utilizar poliacrilamidas, alcohol de polivinilo modificado, copolímeros de alcohol vinílico y acetato de vinilo o polivinilpirrolidona.

30 **[0113]** El término alcohol de polivinilo modificado incluye, por ejemplo, los siguientes polímeros obtenidos:

a) mediante eterificación parcial de un alcohol de polivinilo (por ejemplo, mediante epoxidación mediante la introducción de grupos tales como $-(CH_2CH_2-O-)_n-OH$ en la cadena de homopolímero PVA;

b) mediante esterificación parcial de los grupos de alcohol (de manera similar, un homopolímero de poliéster adecuado pueden hidrolizarse para introducir funciones hidroxilo en el mismo);

35 o

c) mediante copolimerización de bloque obteniendo así, por ejemplo, poli (alcohol vinílico-co-polioxitileno) de acetato de vinilo, éter monometílico de polioxitileno y usando un diisocianato y un diepóxido como suplemento de cadena.

40 **[0114]** Para los propósitos de la presente invención, un copolímero de alcohol de vinilo/acetato de vinilo (que se refiere a continuación como copolímero VA-VAc), que puede obtenerse por hidrólisis parcial de los grupos de un homopolímero de acetato de polivinilo (PVAc), se prefiere particularmente.

[0115] En particular, el grado de hidrólisis del homopolímero PVAc está entre un 50% y un 95% aproximadamente, preferentemente entre un 70% y un 90% aproximadamente.

45 **[0116]** En cuanto al grado de hidrólisis del copolímero, el solicitante ha observado que, para un grado cero de hidrólisis (es decir, para homopolímero de acetato de polivinilo), la solubilidad en agua es muy modesta, igual a aproximadamente 0,01 g/litro a 20°C.

50 **[0117]** Como el grado de hidrólisis aumenta, las propiedades hidrofílicas del material aumentan, junto con su solubilidad, a aproximadamente 300 g/l para un grado de hidrólisis de aproximadamente 88%. Sin embargo, el solicitante se ha dado cuenta de que un nuevo aumento en el grado de hidrólisis resulta en la correspondiente disminución de la solubilidad del material en agua. En efecto, en el caso de hidrólisis completa de los grupos

acetato, el homopolímero de alcohol de polivinilo obtenido tiene una solubilidad extremadamente baja (1,43 g/litro a 20°C), a pesar de que el material es todavía muy hidrofílico.

[0118] A los fines de la presente invención, así es preferible utilizar un copolímero VA-VAc con un grado de hidrólisis que es incompleto, para garantizar una buena solubilidad de este polímero en agua, y que es suficientemente alta, de manera que las propiedades del polímero hidrofílico son suficientes para garantizar un grado adecuado de interacción con el agua.

[0119] El solicitante ha observado también que, además del grado de hidrólisis del homopolímero PVAc, una variable capaz de influir en el comportamiento del bloqueo de agua del material es el peso molecular del copolímero VA-VAc, en particular, el índice de viscosidad del polímero.

[0120] El índice de viscosidad de un polímero se define aquí como la relación entre la viscosidad de una solución acuosa al 4% del polímero (medida a 20°C en un viscosímetro Höppler de caída de esfera) y la viscosidad del agua (medida a 20°C en un viscosímetro Höppler de caída de esfera); para el mismo grado de hidrólisis del polímero, este índice de viscosidad es proporcional al peso molecular del polímero. Típicamente, para un índice de viscosidad igual, como el grado de hidrólisis de un copolímero VA-VAc aumenta, se reduce su peso molecular.

[0121] Como cuestión de hecho, el solicitante ha observado que los copolímeros VA-VAc con índices de baja viscosidad reaccionan con mayor rapidez en presencia de agua, absorbiendo grandes cantidades de agua e hinchándose más rápidamente que los copolímeros con un peso molecular más alto.

[0122] Además, también se ha observado que soluciones acuosas de polímeros con un índice de viscosidad muy bajo no alcanzan lo suficientemente rápido una viscosidad que es tal como para bloquear de manera efectiva la propagación longitudinal del agua. De acuerdo con el solicitante, esto se debe probablemente al hecho de que, a pesar de estos copolímeros tienen una solubilidad relativamente alta en agua (en algunos casos incluso superior a la de los polímeros con un grado similar de hidrólisis y un MW mayor), para alcanzar la viscosidad deseada la concentración de polímero en la solución debe ser suficientemente alta, típicamente por lo menos un 30% en peso. Por lo tanto, la cantidad aumentada de polímero que debe disolverse implica un aumento en el tiempo para formar la solución que tiene la viscosidad deseada, y en consecuencia un aumento en la longitud del cable afectado por el movimiento del agua antes de que se bloquee.

[0123] El solicitante también ha observado que si el índice de viscosidad del polímero utilizado es muy bajo, entonces, en presencia de valores de humedad relativa inferiores al 75-80%, la superficie de este polímero puede cubrirse con una recubrimiento adhesivo causado por la absorción parcial de agua. Esta adhesividad de la superficie generalmente no se desea, ya que, además de los problemas asociados con la dificultad en el manejo de este material bajo estas condiciones, cualquier contacto de esta superficie con las fibras ópticas puede provocar fenómenos de atenuación.

[0124] Por otra parte, el solicitante ha observado que los copolímeros VA-VAc con un índice de viscosidad suficientemente alto son capaces de formar, de manera relativamente rápida, una solución con una concentración lo suficientemente alta (por ejemplo, entre un 10% y un 20% en peso) que tiene la viscosidad necesaria para bloquear el flujo de agua en los tiempos deseados.

[0125] Además, en presencia de porcentajes de humedad relativa inferiores al 75-80%, estos copolímeros no presentan fenómenos de adhesividad de la superficie causados por la absorción parcial de agua, tal como se pueden encontrar, sin embargo, para copolímeros de bajo peso molecular.

[0126] Sin embargo, los copolímeros VA-VAc con un índice de viscosidad excesivamente alto pueden tener una velocidad excesivamente baja de disolución en contacto con el agua, como resultado de lo cual, el agua puede fluir una distancia excesiva (por ejemplo, muchos metros) dentro del cable antes de ser bloqueada.

[0127] El solicitante ha encontrado así que los copolímeros de alcohol de vinilo y acetato de vinilo con un índice de viscosidad superior a 5 aproximadamente son particularmente adecuados para los propósitos de la presente invención. Preferiblemente, el índice de viscosidad del copolímero es entre aproximadamente 8 y aproximadamente 40, copolímeros de alcohol de vinilo y acetato de vinilo con un índice de viscosidad de entre aproximadamente 10 y aproximadamente 30 siendo aún más preferidos. Ventajosamente, es posible usar mezclas de copolímeros con diferentes pesos moleculares, para combinar los efectos específicos ventajosos de cada copolímero.

[0128] Ejemplos de materiales comercialmente disponibles con las características deseadas son los que se venden bajo el nombre comercial de Mowiol® (Hoechst AG), Gohsenol® (Nippon Gohsei), Elvanol® (Du Pont) o Airvol® (Air Products).

[0129] Para evaluar un material de polímero soluble en agua que se puede utilizar en un cable de acuerdo con la presente invención, el solicitante ha desarrollado dos pruebas experimentales simples.

[0130] Una primera prueba consiste en la producción, mediante extrusión, de un elemento tubular con un

diámetro externo de 3 mm, con una doble capa de recubrimiento, que contiene 11 fibras ópticas de 250 µm de diámetro, que consiste en una capa externa de polietileno de aproximadamente 0,35 mm de espesor y una capa interna de material de polímero soluble en agua de aproximadamente 0,3 mm de espesor. Este elemento tubular está conectado a un tanque de agua colocado bajo un cabezal de 1 metro de agua. El solicitante ha observado que los materiales de polímero solubles en agua que son particularmente adecuados para la producción de un cable de acuerdo con la invención son aquellos que son capaces de bloquear el flujo de agua a 10 metros del punto de entrada.

[0131] De acuerdo con una segunda prueba, placas de material soluble en agua (aproximadamente 20 x 30 x 1 mm de tamaño) se moldean y se sumergen en un volumen de aproximadamente 1 litro de agua durante un período de tiempo definido. Una vez en contacto con el agua, parte del material de polímero se disuelve y se lleva en solución, parte del material forma una solución de alta viscosidad en la superficie de las placas y parte del material permanece en estado sólido, hinchándose parcialmente después de la absorción de agua. Las placas se sacan entonces del agua y se agitan suavemente para eliminar el agua superficial. La solución viscosa en la superficie se elimina, por ejemplo, utilizando una espátula, y se mide su viscosidad. El solicitante ha encontrado que los materiales de polímero que son especialmente adecuados son aquellos que son capaces de formar, en la superficie de estas placas, una solución con una viscosidad de aproximadamente 10^4 cP o más después de la inmersión en agua durante unos cuatro minutos.

[0132] El material de polímero soluble en agua se puede utilizar de muchas maneras diferentes en los varios componentes que forman la estructura de los cables, para optimizar el efecto de bloqueo del agua.

[0133] Además de usar el material soluble en agua para hacer porciones o sustituir los elementos estructurales del cable, para dar a este cable propiedades de bloqueo de la penetración del agua sin aumentar su peso, tal como se describió anteriormente, es posible explotar las propiedades del material soluble en agua para ser eficaces en el bloqueo de la penetración de agua, incluso en cavidades de forma irregular, sin la introducción de materiales fluidos, pegajosos o pulverulentos en el cable, mediante la introducción de elementos adicionales hechos de este mismo material.

[0134] Por ejemplo, se pueden preparar filamentos delgados de material soluble en agua (por ejemplo, con un diámetro de $\leq 0,5$ mm), alrededor de los cuales se enrollan haces de fibras ópticas o que se enrollan juntos con los haces alrededor de un soporte central, o alternativamente varillas adecuadas de dimensiones apropiadas que se insertan en las áreas en forma de estrella (8) o en las ranuras (14) durante la construcción del cable.

[0135] Además, también es posible hacer cables de fibra óptica con otras geometrías, tales como, por ejemplo, cable mini-tubo, en el que dos o más fibras ópticas están contenidas en una micro-funda (de aproximadamente 0,07-0,15 mm de espesor), que ventajosamente se puede formar a partir del material soluble en agua de acuerdo con la invención, alojándose a su vez una serie de estos mini-tubos en un tubo de tampón de mayor diámetro. Además, también se pueden fabricar cables con un llamado núcleo ajustado, en los que las fibras ópticas se incorporan en un núcleo de polímero, en el que el núcleo está parcialmente o totalmente hecho de material soluble en agua.

[0136] Es particularmente ventajoso hacer que el alojamiento de la fibra óptica a partir de material soluble en agua, de tal manera que su disolución se pone en contacto con las fibras ópticas, lo que bloquea el flujo de agua a lo largo de la cavidad en la que se alojan estas fibras.

[0137] Esta estructura hace posible la producción de un cable que está más o menos libre de materiales convencionales de bloqueo, que consiste en material grasiento o aceitoso o pulverulento en contacto con las fibras.

[0138] Sin embargo, respecto a las características estructurales específicas y de trabajo, también es posible de acuerdo con la presente invención combinar porciones del cable formadas a partir o recubiertas con un material soluble en agua, con las otras porciones conteniendo grasa de bloqueo o una cinta que comprende polvo que se hincha con agua.

[0139] Según un aspecto de la presente invención, la solución viscosa formada después de la entrada accidental de agua en el cable llena los espacios intersticiales, bloqueando así el flujo, sin las fibras experimenten tensiones mecánicas significativas.

[0140] Esto permite que el cable, tras la entrada accidental de agua, siga siendo funcional, sin embargo, sin experimentar ninguna desventaja particular en términos de atenuación de la señal, lo que permite realizar su reparación en un momento posterior.

[0141] La fabricación de los diversos elementos mencionados anteriormente, hechos a partir o que incorporan el material soluble en agua, se puede realizar de acuerdo con técnicas conocidas, preferentemente por extrusión.

[0142] En particular, el material puede extrudirse directamente como parte de la estructura del cable (por ejemplo, elementos tubulares de una, dos y tres capas que contienen las fibras ópticas, la capa interna de la funda

contenedora del cable, los recubrimientos extrudidos del núcleo ranurado) o como un elemento separado que se inserta posteriormente en la estructura del cable (por ejemplo filamentos que se enrollan con las fibras ópticas, varillas que se enrollan con los tubos, cintas, etc.).

- 5 **[0143]** Para este propósito, es preferible añadir a este material una cierta cantidad de plastificante, para mejorar su capacidad de procesamiento y su flexibilidad final. La cantidad de plastificante puede oscilar entre aproximadamente un 1% a aproximadamente un 30% en peso del material de bloqueo de agua, preferentemente de aproximadamente un 5% a aproximadamente un 25%, una cantidad de aproximadamente un 15-20% en peso siendo particularmente preferida. Ejemplos de materiales adecuados que se pueden utilizar como plastificantes son glicerol, sorbitol, trimetilolpropano, poliglicol de bajo peso molecular, tal como polietileno glicol (por ejemplo, di- o trietilenglicol), pentaeritritol, neopentilglicol, trietanolamina, ésteres fosfóricos oxietilados y agua.

10 **[0144]** El solicitante ha observado también que la presencia de un plastificante, en particular glicerol, preferentemente en las cantidades indicadas anteriormente, es capaz de aumentar la capacidad de absorción de agua del material soluble en agua.

- 15 **[0145]** Las propiedades mecánicas del material de polímero soluble en agua (como, por ejemplo, módulo elástico, carga de rotura, alargamiento a la rotura, etc.) se eligen en función del uso específico del elemento dentro de la estructura del cable. Estas propiedades se pueden obtener con una selección adecuada del material con las propiedades deseadas o, por ejemplo, variando apropiadamente la cantidad de plastificante añadido al material de polímero, para modificar sus propiedades mecánicas de acuerdo a los requerimientos específicos.

- 20 **[0146]** Por ejemplo, como el material de polímero puede usarse para hacer toda la pared de un elemento tubular contenedor de fibra óptica o para sustituir una parte del espesor de esta pared, o alternatively una cinta de envoltura compacta u otros componentes de la estructura del cable, dicho material tendrá preferiblemente propiedades mecánicas similares a las de los materiales convencionales (PBT, PP, PE) utilizados para hacer estos elementos, para soportar las típicas tensiones a las que están sometidos estos elementos.

EJEMPLO 1

- 25 **Absorción de agua en el estado de vapor**

[0147] Usando copolímeros VA-VAc que se venden bajo el nombre comercial de Mowiol (Hoechst AG), se prepararon 10 placas de 1 mm de espesor. La tabla 1 muestra los índices de viscosidad y el grado de hidrólisis de los polímeros utilizados y el contenido de plastificante en la mezcla.

Tabla 1: Propiedades de los materiales de bloqueo de agua

Prueba Nº.	Copolímero VA-VAc Mowiol®			Glicerol
	Índice de viscosidad	Grado de hidrólisis %	% en peso	% en peso
1	3	83	100	0
1a	3	83	95	5
1b	3	83	90	10
2	23	88	100	0
2a	23	88	95	5
3	10	74	100	0
3a	10	74	95	5
4	40	88	100	0
4a	40	88	95	5
4b	40	88	90	10

[0148] Muestras pesadas con dimensiones de 20 × 70 × 1 mm para someterse a una prueba de absorción de agua se obtuvieron de las placas acondicionada durante 7 días en condiciones ambientales (23°C, 40% de humedad relativa).

- 5 **[0149]** La prueba se realizó de acuerdo con el procedimiento indicado en el estándar ASTM D 570, con la diferencia de que las muestras, en lugar de sumergirse en agua tal como se indica en dicho estándar, se exponen a una atmósfera con una humedad relativa (HR) controlada del 100% (valor que se considera que es perjudicial para las fibras ópticas) en un caso, y del 75% (valor que no se considera perjudicial) en el otro caso. Los resultados se presentan en la Tabla 1a a continuación.

Tabla 1a: Pruebas de absorción de agua en el estado de vapor

Prueba N°.	% H ₂ O absorbida a lo largo del tiempo (horas)	
	Al 100% HR	Al 75% HR
1	33% 264 h	9,9% 264 h
1a	43% 264 h	12% 264 h
1b	53% 264 h	14% 264 h
2	47% 1400 h	11% 1400 h
2a	70% 1400 h	14% 1400 h
3	49% 1400 h	7% 1400 h
3a	76% 1400 h	13% 1400 h
4	38% 360 h	9% 360 h
4a	55% 360 h	13% 360 h
4b	68% 360 h	16% 360 h

10

[0150] A partir de estos datos, se ve que los materiales de prueba muestran una absorción de agua limitada hasta el 75% de humedad relativa, mientras que esta absorción se incrementa considerablemente en el 100% de humedad relativa.

- 15 **[0151]** También se observa que al aumentar el índice de viscosidad, la capacidad de absorción del polímero aumenta; además, se observa que la cantidad de agua absorbida (tanto saturada como a 75% HR) se incrementa por la presencia de glicerol como plastificante.

EJEMPLO 2

Medición de las capacidades higrostáticas

- 20 **[0152]** Una placa fue moldeada a partir de gránulos de copolímero comercial VA-VAc hidrolizado al 80% de la compañía Aldrich y con un índice de viscosidad de aproximadamente 25, y 1 placa fue moldeada a partir de MDPE, ambas en un espesor de aproximadamente 0,2 mm.

- 25 **[0153]** Se obtuvieron dos discos a partir de la placa de MDPE, teniendo estos una superficie de trabajo de 16 cm², que fueron utilizados para cerrar, mediante accesorios adecuados, las aberturas abiertas de dos células de 30 cm³ para la prueba de permeabilidad al agua según el estándar ASTM E96, modificadas insertando en cada célula un sensor de Panametrics Hydrid-Cap para medir la humedad relativa (sensibilidad de aproximadamente 2 mV/% HR) e insertando el cable para este sensor a través de una ranura hermética.

- 30 **[0154]** Las células se montaron en una bolsa de guantes lavada con aire seco (HR < 1%). Una de las mismas, que sirvió como referencia, estaba vacía y sólo contenía el sensor, la otra también contenía, junto con el sensor, una porción de aproximadamente 1 g de copolímero VA-VAc. Esta cantidad es proporcional al contenido previsto en un cable típico de acuerdo con la invención, que comprende un elemento tubular de doble capa (0,2 mm de capa externa de PE y 0,15 mm de capa interna de copolímero de bloqueo de agua) y una banda de copolímero

de bloqueo de agua con un espesor de aproximadamente 0,15 mm, para un total de aproximadamente 30 g/m de material soluble en agua.

[0155] Las células montadas, con los sensores suministrados y conectados a un registrador de datos, se retiraron entonces de la bolsa de guantes y se colocaron en un contenedor sellado en el que se mantuvo una humedad relativa del 100%.

[0156] Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Capacidad higrostática

Horas	HR en el contenedor	
	con polímero	Vacío
0	7%	7%
1000	35%	65%
2000	40%	77%
4000	50%	90%
5500	56%	100%
6500	60%	100%
8500	65%	100%

[0157] A partir de estos datos se ve que, después de que el agua ha penetrado a través de los discos de MDPE, la humedad relativa en las dos células aumenta con el tiempo a partir del valor inicial de aproximadamente el 7%.

[0158] Sin embargo, en el caso de la célula que contiene el copolímero VA-VAc en la proporción prevista, el valor de la humedad relativa aumenta lentamente al 60% después de 6.500 horas, mientras que en el caso de la célula vacía aumenta con mayor rapidez, hasta que se excede, al final de 2000 horas, el umbral de peligro del 80% de humedad relativa y alcanza el 100% en aproximadamente 5.500 horas.

[0159] Sobre la base del cambio de la curva para la célula que contiene el copolímero soluble en agua, se estima que después de 20 años, la humedad relativa alcanzará un valor de aproximadamente el 75%.

[0160] Sobre la base de los resultados experimentales obtenidos, se considera que esta prueba es una representación verdadera de la situación de un cable, con un factor de aceleración de 10 debido al reducido espesor (0,2 mm en lugar del convencional de 2 mm) de la funda externa de MDPE.

[0161] A partir de esta prueba, se puede considerar así que en un cable dieléctrico que contiene elementos hechos de material sólido soluble en agua en una cantidad de aproximadamente 30 g/m, sumergido en agua a temperatura ambiente, la humedad relativa interna después de unos 9 años sigue siendo del 60%, y alcanza el 75% sólo después de 20 años, mientras que en el caso de un cable idéntico de tipo tradicional, la humedad relativa supera el umbral crítico del 80% ya después de 3 años.

EJEMPLO 3

Capacidad para bloquear la penetración de agua en tubos

[0162] Usando el copolímero comercial Mowiol VA-VAc, se prepararon una serie de mezclas en un lugar mezclador seco, con el que se extrudieron elementos tubulares de dos capas en la configuración de la figura 1, con un diámetro interno de 1,7 mm y un diámetro externo de 3,0 mm, un espesor promedio de copolímero VA-VAc de 0,3 mm como capa interna, estando hecho el resto de LDPE, y que contiene 11 fibras ópticas.

[0163] Los elementos tubulares se sometieron entonces a una prueba de penetración longitudinal del agua.

[0164] La prueba se realizó a cabo de acuerdo con el procedimiento previsto en el estándar EIA/TIA-455-

82B, con la diferencia de que la longitud del elemento tubular utilizado fue de 10 m.

[0165] Los resultados obtenidos (promedio de 3 pruebas) fueron los siguientes:

Tabla 3: Penetración longitudinal de agua en un elemento tubular

Prueba*	Penetración de agua (m)
1a	> 10 m
2a	7 m
3a	4 m
4a	~ 4 m
4b	4 m
* las características de los polímeros usados en las diferentes pruebas son tal como se indican en la Tabla 1	

5 **[0166]** Tres pruebas de penetración se repitieron entonces en el elemento tubular de acuerdo con la mezcla 3a, dando un valor promedio de 3,75 m, que está en buen acuerdo con las pruebas anteriores.

10 **[0167]** Las pruebas confirmaron que los elementos tubulares de dos capas sin material de bloqueo, utilizando copolímero VA-VAc como material sólido soluble en agua para la parte interna (en particular aquellos con un índice de viscosidad superior a 3) son capaces de impedir la propagación longitudinal del agua en el caso de entrada accidental, bloqueando esta propagación a pocos metros desde el punto de entrada.

EJEMPLO 4

Capacidad para mantener la capacidad de transmisión en el caso de entrada de agua

15 **[0168]** Se preparó un elemento tubular de dos capas tal como se describe en el Ejemplo 3, usando el material 3a de la Tabla 1 como capa interna. Cinco metros de este elemento tubular, con 12 fibras ópticas, se colocaron en mezcla y horizontalmente sobre el estante de una cámara climática. Un extremo del elemento tubular fue conectado, mediante de una junta hermética, con una pipeta de vidrio de 1 m, que fue inicialmente vaciada, colocada verticalmente fuera de la cámara climática.

[0169] Las 12 fibras ópticas se pasaron a través de la pipeta.

20 **[0170]** Cada fibra se soldó a continuación, fuera de la pipeta, en un extremo con una longitud de fibra óptica unida y se conecta a través de esta ruta a una fuente óptica Fujikura FLU-312 LED, mientras que el otro extremo se conectó a una de las entradas de un sensor de potencia óptica Fujikura FPM-Gol que suministra un medidor de potencia óptica Fujikura FPM-01.

[0171] Las fibras se suministraron con luz a 1550 nm, siendo ésta una longitud de onda en la que las fibras son particularmente sensibles a tensiones de microplegado.

25 **[0172]** Después de completarse el montaje y de estabilizarse los datos de todas las fibras ópticas, la lectura se puso a cero de manera que, a partir de ese momento, cada canal proporcionó la diferencia entre la potencia instantánea transmitida por la fibra y el valor inicial en el momento de puesta a cero.

30 **[0173]** En este punto, a una temperatura de 20°C, la pipeta se llenó con agua, manteniendo una cabeza constante de 1 m en relación con el plano en el que está colocado el elemento tubular mezclado. Una vez que se ha logrado la detención del flujo de agua (se encontró posteriormente que esto se produjo en promedio en 3,75 m del elemento tubular), se inició el registro de las variaciones en la potencia transmitida, cambiando la temperatura en etapas cada 20-24 horas.

[0174] La temperatura mínima alcanzada durante el experimento fue de -40°C.

35 **[0175]** Los valores de atenuación obtenidos, como promedio de tres pruebas repetidas, en 4 fibras, se dan en la Tabla 4.

Tabla 4: Efecto de ciclos de temperatura en la atenuación a 1550 nm después del bloqueo de agua

Horas	0	0	20	21	23	25	26	28	30
T(°C)	20	20*	20	10	0	-15	-30	-40	20
Fibra	Variación en la atenuación (dB)								
#1	0	0	-0,02	0,01	0	-0,01	-0,01	-0,03	0,03
#2	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0,01	-0,01	0
#3	0	0	-0,01	0	0	0,01	0	-0,02	-0,02
#4	0	0	-0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	-0,03
* entrada de agua									

[0176] Tal como puede verse, la acción del material soluble en agua en el agua que penetra en el cable no provoca grandes variaciones en la atenuación, incluso en presencia de grandes variaciones en la temperatura.

- 5 **[0177]** En consecuencia, el sistema se puede mantener en el modo normal de trabajo, incluso después de la penetración accidental de agua y, sólo cuando sea conveniente hacerlo, después de que haya sido localizado el punto de entrada de agua, por ejemplo midiendo exactamente la atenuación, realizando las reparaciones y/o sustituciones necesarias, por ejemplo, después de unos pocos meses.

EJEMPLO 5

10 Capacidad para bloquear la penetración del agua en un cable

[0178] Esta prueba consistió en someter un cable de fibra óptica a una cabeza constante de un metro de agua sobre toda la sección del cable, correspondiendo a una presión de 0,1 bar, y midiendo el tiempo empleado por el frente de agua para llegar a una detención completa dentro del cable.

- 15 **[0179]** El cable de fibra óptica utilizado en esta prueba tenía la estructura representada en la figura 3, y, en particular, consistió en:

- un soporte central de resina de vidrio (5) de 3 mm de diámetro;

- una cinta de copolímero VA-VAc de 13 mm de ancho y 0,3 mm de espesor, enrollada en una espiral con un solapamiento de aproximadamente el 50% alrededor del soporte, para formar el recubrimiento (6);

- 20 de este soporte envuelto, consistiendo estos elementos tubulares en una doble capa, la capa interna, hecha de copolímero VA-VAc, que tiene un espesor de 0,35 mm, mientras que la capa externa, hecha de polietileno de baja densidad, tenía un espesor de 0,4 mm;

- 11 fibras ópticas con un diámetro de aproximadamente 250 µm colocadas sueltas dentro de cada elemento tubular;

- 25 - una segunda cinta de copolímero VA-VAc, 14 mm de anchura, 0,35 mm de espesor, envuelta en espiral con un solapado de aproximadamente el 50% alrededor del conjunto de elementos tubulares, para formar la envoltura (8);

- una funda externa de polietileno de baja densidad (11) de aproximadamente 1 mm de espesor.

- 30 **[0180]** En contraste con el cable que se muestra en la figura 3, la capa de refuerzo o blindaje (9) no estaba presente.

[0181] El copolímero VA-VAc (Mowiol, Hoechst AG) utilizado para hacer los diferentes elementos del cable mencionado anteriormente tiene un índice de viscosidad de 10, un grado de hidrólisis de 74 y se plastifica con un 5% de glicerol, y se indica mediante 3a en la Tabla 1.

[0182] Una columna de vidrio de un metro de longitud se llenó con agua que contiene un tinte (azul de

metileno) para permitir que se distinga la parte delantera del fluido en el interior del cable, y se conectó a un extremo del cable tal como se describe anteriormente.

[0183] La prueba se realizó a temperatura ambiente en un cable de 6 m de longitud.

5 **[0184]** La tabla 5 muestra la longitud del cable a través del cual fluye el frente de fluido y el tiempo necesario para este desplazamiento.

Tabla 5: Penetración longitudinal de agua en el cable

Tiempo	Longitud (cm)
30 segundos	116
60 segundos	172
90 segundos	198
120 segundos	215
150 segundos	226
180 segundos	237
24 horas	280
48 horas	280
7 días	280

[0185] Tal como se muestra en la Tabla 5, el cable era capaz (después de sólo 24 horas) de bloquear el flujo de fluido en su interior a menos de 3 m desde el punto de infiltración de este fluido.

10 **EJEMPLO 6**

Propiedades de solubilidad de los materiales

15 **[0186]** Para evaluar los materiales de polímeros solubles en agua, dos placas fueron moldeadas con dimensiones de 20 x 30 x 1 mm, utilizando el material 3a para la primera placa y el material 1b para la segunda placa (véase la Tabla 1 para las características de los materiales). Estas placas, que fueron pesadas previamente, se sumergieron en contenedores de prueba llenos con un litro de agua, a 25°C durante 4 minutos.

[0187] Las muestras que se retiraron del agua se agitaron para librarse de las partes más líquidas y se pesaron inmediatamente.

[0188] Las muestras así pesadas se rasparon a continuación con una espátula para retirar la solución viscosa adherida a la superficie, y se volvieron a pesar.

20 **[0189]** Las muestras raspadas y pesadas se colocaron en un horno para secarlas. El peso en seco final de la muestra se obtuvo después de su secado.

[0190] Las espátulas y el material de vidrio utilizado para eliminar la solución viscosa de cada muestra fueron lavados con abundante agua y esta agua se recogió y se secó en un horno. El peso del residuo seco, es decir, del polímero presente en la solución viscosa en contacto con la placa, se obtuvo al final.

25 **[0191]** Sobre la base de las mediciones realizadas, se encontró que, después de la inmersión en agua durante 4 minutos, la muestra de material 3a mostró una concentración de polímero en la solución viscosa en contacto con la muestra de prueba de aproximadamente un 17,5% en peso. De la curva 51 en la figura 5, que muestra el cambio en la viscosidad en función de la concentración del material específico, se llega a la viscosidad de la solución relacionada, que es de $2,7 \times 10^4$ cP aproximadamente. Además, se calcula que aproximadamente 25 g de polímero por m² de área superficial de la muestra de prueba se disolvió en agua en el contenedor de prueba. La cantidad total de polímero disuelto (en la solución viscosa en contacto con las muestras de prueba y en el agua en el contenedor) era de aproximadamente 42 g/m² de la muestra de prueba, mientras que la cantidad de agua absorbida por el material sólido era de aproximadamente un 13% en peso.

[0192] De manera similar, para la muestra de prueba del material 1b, se encontró una concentración de polímero en la solución viscosa en contacto con la muestra de prueba del 29% en peso aproximadamente, que, sobre la base de la respectiva curva de concentración/viscosidad 52 en la figura 5, corresponde a una viscosidad de la solución de aproximadamente 650 cP. Esta muestra de la prueba liberó en agua en el contenedor de prueba

[0193] Con referencia al ejemplo descrito anteriormente, se ha observado que se obtienen materiales con propiedades adecuadas, en particular, aquellos para los que, bajo las condiciones de la prueba, se miden valores de viscosidad de al menos 10^4 cP aproximadamente, es decir, materiales capaces de formar, con relativa rapidez, una solución que es lo suficientemente viscosa para bloquear el flujo de agua. Además, para los materiales que, bajo las condiciones de prueba, muestran valores de viscosidad de menos de aproximadamente 10^3 cP, la viscosidad reducida de estas soluciones supone un aumento no deseado en el tiempo de bloqueo y en la distancia de bloqueo de agua en las pruebas experimentales.

EJEMPLO 7

Propiedades mecánicas de los materiales

[0194] Una comparación entre las propiedades mecánicas de un material de polímero soluble en agua que se puede utilizar en un cable de acuerdo con la presente invención (copolímeros de alcohol vinílico y acetato de vinilo vendido bajo la marca Mowiol por la empresa Hoechst) y las correspondientes propiedades de los materiales convencionales utilizados en cables (polietileno de alta densidad - HDPE - y tereftalato de polibutileno - PBT) se proporcionan en la tabla siguiente. Los valores del copolímero VA-VAc hacen referencia a un copolímero Mowiol® 23/88 que contiene un 18-20% (w/w) de pentaeritritol y un 3,5% (w/w) de glicerina. En el caso del copolímero VA-VAc, las medidas de las propiedades mecánicas se realizaron en tubos de tampón acondicionados al 0%, 10% y 30% de humedad relativa (HR), respectivamente. La humedad relativa del 0% se obtuvo colocando la pieza de prueba a 60°C en un horno al vacío durante una noche. La humedad relativa del 10% y del 30% se obtuvo mediante el acondicionamiento de las muestras a temperatura ambiente a los valores respectivos de humedad relativa durante dos semanas.

[0195] Las propiedades mecánicas se midieron en los materiales extrudidos como tubos de tampón (diámetro externo de 2,5 mm aproximadamente, diámetro interno de 1,8 mm aproximadamente, piezas de prueba de 60 mm de longitud aproximadamente), usando un dinamómetro Instron mod. 4501, con una célula de carga de 1 kN, de acuerdo con el siguiente procedimiento.

[0196] Dos varillas metálicas (20 mm de longitud aproximadamente) se insertaron en cada extremo del tubo para evitar el choque del tubo entre las mordazas del dinamómetro. Los dos extremos del tubo se insertaron a continuación, en las mordazas del dinamómetro, cuyas mordazas se colocaron a una distancia inicial de 25 mm entre sí. Las mordazas se separaron entre sí a continuación con un índice de velocidad de 25 mm/min. El módulo de elasticidad se determinó usando el software del sistema de prueba de materiales Instron Serie IX.

Tabla 6: Propiedades mecánicas

	T.S. [MPa]	E.B. [%]	Módulo E [MPa]
HDPE (DGDK 3364)	19	580	350
PBT (Hüls)	40	290	750
PVA 0% RH	67	120	1300
PVA 10% RH	60	150	720
PVA 30% RH	67	170	250
(T.S. = Resistencia a la tracción, E.B. = elongación en rotura)			

Tal como se muestra en la tabla 6 anterior, las propiedades mecánicas de PVA son comparables a las de los materiales convencionales utilizados para la fabricación de elementos estructurales de los cables ópticos. Los cambios en las propiedades mecánicas dependiendo de la exposición a diferentes valores de humedad relativa se

encuentran dentro del rango aceptable. En particular, como el material se seca preferentemente antes de extrudirse, las condiciones de humedad relativa del 0% corresponden normalmente a la humedad RH a la que el material está expuesto durante y después de haber sido extrudido. Si el material soluble en agua es coextrudido junto con una capa externa de un material convencional, dicha capa externa actuará como una barrera contra la humedad externa y así las propiedades mecánicas del material se mantendrán inalteradas durante un período relativamente largo. En el otro lado, las propiedades mecánicas medidas en el acondicionamiento de humedad relativa del 10% corresponden substancialmente a las propiedades mecánicas del material extrudido expuesto al aire del ambiente (25°C, 40% de humedad relativa) durante aproximadamente una semana, que es el período máximo de almacenamiento típico de un tubo de tampón antes de insertarse en una estructura del cable. Cuando el elemento estructural hecho de o que contiene el material que se hincha en agua se coloca dentro de la estructura del cable, el efecto de barrera de la estructura del cable circundante en la HR externa limitará entonces substancialmente la variación de las propiedades mecánicas del material. En cualquier caso, cabe señalar que se requiere el material tenga propiedades mecánicas comparables a las de los materiales convencionales, en particular durante las etapas de fabricación del cable y durante las operaciones de colocación del mismo, cuando el cable está más sometido a tensiones y posibles daños.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Cable de fibra óptica que comprende una cavidad longitudinal que se extiende a lo largo de la longitud del cable, por lo menos una fibra óptica alojada dentro de dicha cavidad longitudinal, comprendiendo también dicha cavidad longitudinal un elemento sólido y compacto asociado en su interior, en donde dicho elemento sólido y compacto comprende aproximadamente un 30% en peso o más de un material de polímero soluble en agua que, después de la entrada accidental de agua en el cable, es capaz de formar una solución acuosa con una viscosidad predeterminada tal como para bloquear el flujo de agua a 10 metros del punto de entrada.
- 10 2. Cable según la reivindicación 1, en el que el elemento sólido y compacto comprende aproximadamente un 50% o más de dicho material de polímero soluble en agua.
3. Cable según la reivindicación 1, en el que el elemento sólido y compacto comprende más de aproximadamente un 75% en peso del material de polímero soluble en agua.
- 15 4. Cable según la reivindicación 1, en el que el elemento sólido y compacto es un elemento estructural del cable apto para contener y proteger la al menos una fibra óptica dispuesta dentro de dicha cavidad longitudinal.
5. Cable según la reivindicación 4, en el que el elemento estructural es un elemento tubular y dicha cavidad longitudinal se define por el volumen interno de dicho elemento tubular.
- 20 6. Cable según la reivindicación 5, en el que el elemento tubular comprende una pared de dos capas en la que la capa interna está hecha de dicho material sólido soluble en agua y la capa externa está hecha de un material de polímero insoluble en agua convencional.
7. Cable según la reivindicación 6, en el que dicho elemento tubular comprende una tercera capa externa hecha de material de polímero sólido soluble en agua.
- 25 8. Cable según la reivindicación 5, en el que el elemento tubular está hecho a partir de una sola funda de dicho material sólido soluble en agua.
9. Cable según la reivindicación 4, en el que dicho elemento estructural apto para contener la por lo menos una fibra óptica es un núcleo ranurado que comprende al menos una ranura longitudinalmente dispuesta en la superficie externa de dicho núcleo y la cavidad longitudinal está definida por el volumen interno dentro de dicha ranura.
- 30 10. Cable según la reivindicación 9, en el que por lo menos las paredes de dicha ranura están hechas de un material de polímero sólido soluble en agua.
11. Cable según la reivindicación 9, en el que el núcleo ranurado está hecho completamente a partir de dicho material de polímero sólido soluble en agua.
- 35 12. Cable según la reivindicación 1, en el que el elemento sólido y compacto hecho de material de polímero soluble en agua es una cinta.
13. Cable óptico según la reivindicación 1, en el que el material de polímero soluble en agua tiene una solubilidad en agua de al menos 100 g/l.
- 40 14. Cable según la reivindicación 1, en el que dicha solución acuosa tiene una viscosidad de al menos 10^4 cP a 20°C aproximadamente.
15. Cable óptico según la reivindicación 13, en el que dicha solución acuosa contiene una cantidad de material de polímero soluble en agua de entre aproximadamente 100 g/l y aproximadamente 250 g/l.
16. Cable según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** dicho material de polímero soluble en agua es un material que se hincha en agua.
17. Cable según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho material soluble en agua se elige de poliácridamida, alcohol de polivinilo modificado, copolímeros de alcohol vinílico y acetato de vinilo, polivinilpirrolidona, y mezclas de los mismos.
- 45 18. Cable según la reivindicación 17, en el que dicho material soluble en agua es un copolímero de alcohol de vinilo y acetato de vinilo que se puede obtener mediante hidrólisis parcial de los grupos acetato de un homopolímero de acetato de polivinilo.
19. Cable según la reivindicación 18, en el que el grado de hidrólisis de los grupos acetato del homopolímero de acetato de polivinilo es entre un 50% y un 95%.
20. Cable según la reivindicación 18, **caracterizado por el hecho de que** dicho copolímero de

alcohol vinílico y acetato de vinilo tiene un índice de viscosidad mayor de 5 aproximadamente.

21. Cable según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por el hecho de que** dicho material de polímero soluble en agua tiene una carga de rotura superior a 15 MPa aproximadamente y un módulo de elasticidad mayor de 200 MPa aproximadamente.

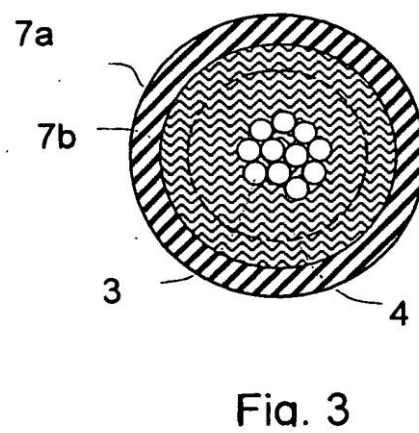
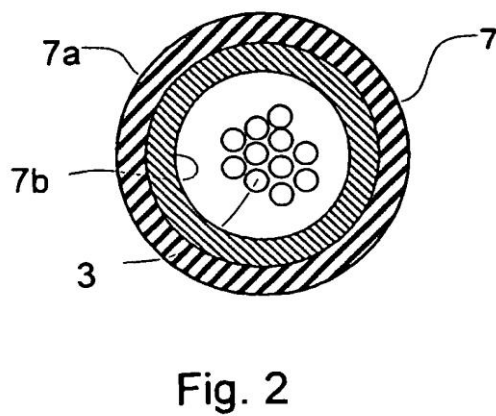
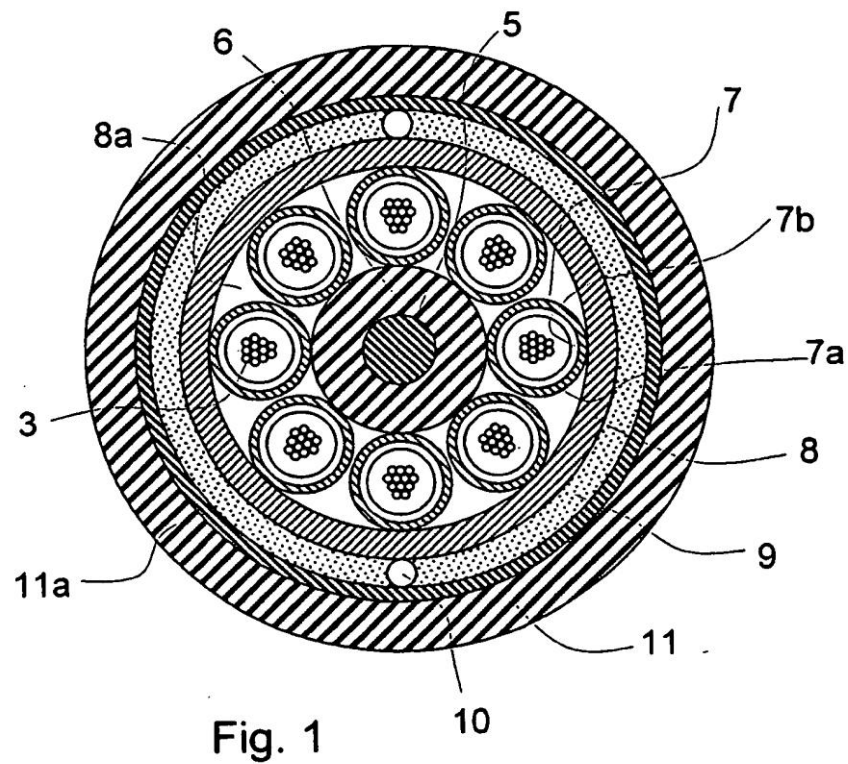
5 **22.** Cable óptico según la reivindicación 1, en el que la relación entre la sección transversal de dicha cavidad y el perímetro de dicho elemento soluble en agua en contacto con dicha cavidad es menor de 0,5 mm.

23. Cable según la reivindicación 22 en el que, cuando el polímero soluble en agua forma una solución acuosa que tiene una viscosidad de al menos 10^4 cP aproximadamente cuando entra en contacto con el agua, dicha relación es menor de 0,4 mm aproximadamente.

10 **24.** Cable según la reivindicación 1, en el que la sección transversal del elemento sólido hecho de material soluble en agua no es menor a un 10% de la sección transversal libre de la cavidad con la que está asociado dicho elemento.

25. Cable según la reivindicación 1, en el que la sección transversal del elemento sólido hecho de material soluble en agua no es inferior a un 20% aproximadamente de la sección transversal libre de la cavidad con la que está asociado dicho elemento.

15 **26.** Cable según la reivindicación 1, en el que la sección transversal del elemento sólido hecho de material soluble en agua no es inferior a un 40% aproximadamente de la sección transversal libre de la cavidad con la que está asociado dicho elemento.



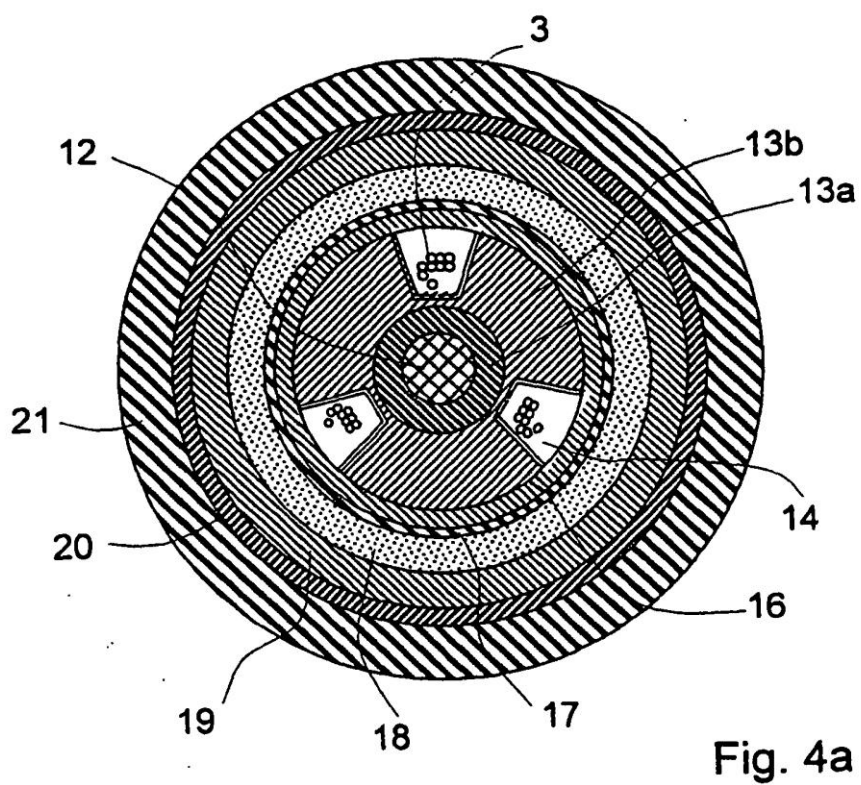
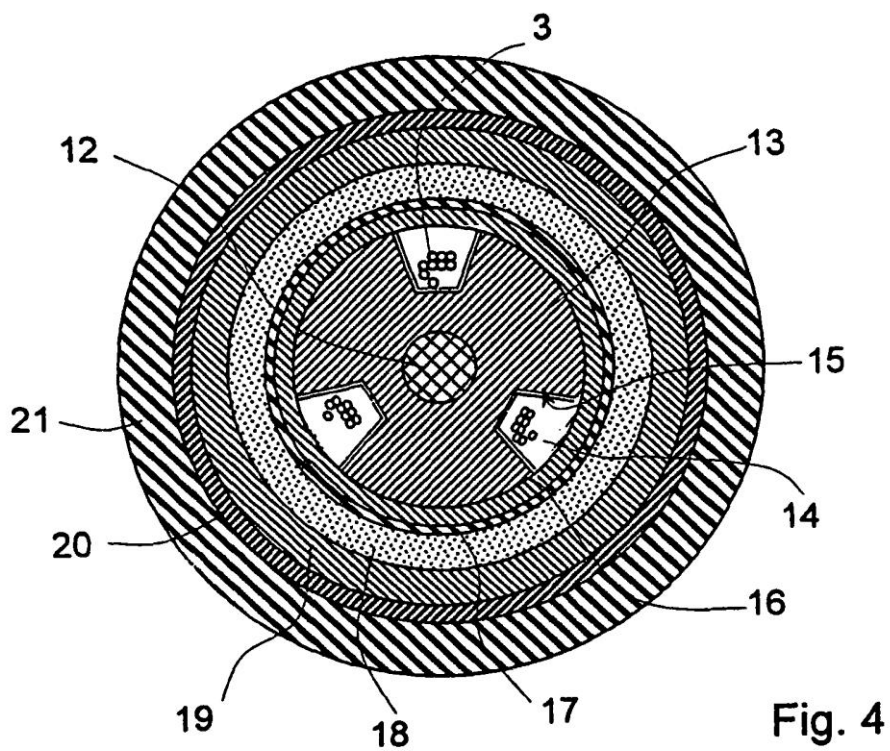
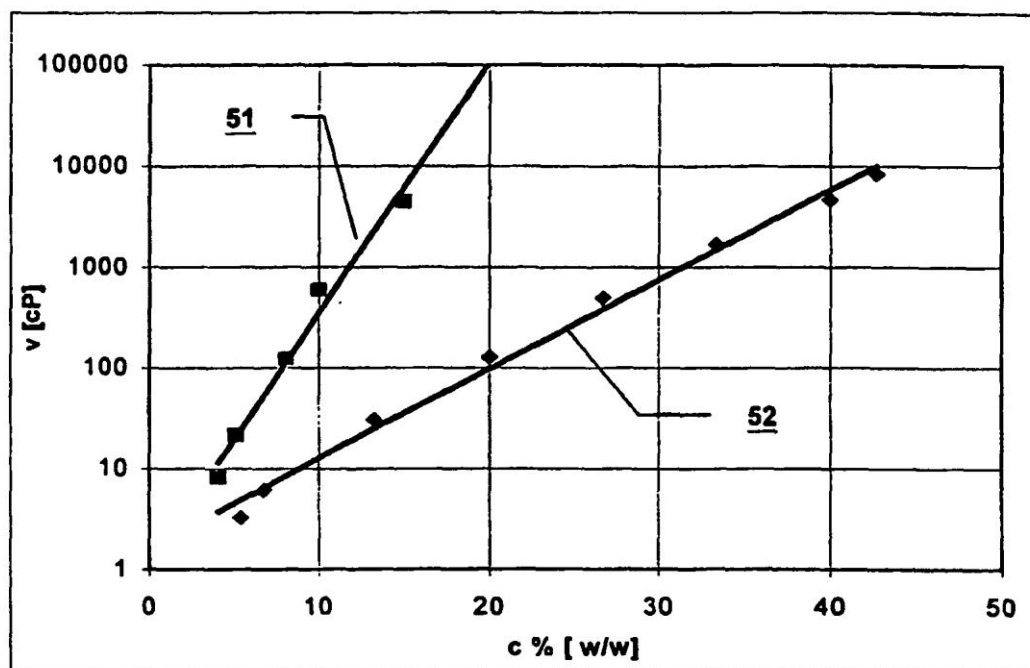


Fig. 5

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 Esta lista de referencias citadas por el solicitante está prevista únicamente para ayudar al lector y no forma parte del documento de patente europea. Aunque se ha puesto el máximo cuidado en su realización, no se pueden excluir errores u omisiones y la OEP declina cualquier responsabilidad al respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- EP 811864 A [0011]
- 10 • US 5285513 A [0011]
- US 5187763 A [0011]
- EP 541007 A [0011]
- US 4867526 A [0015]
- US 5138685 A [0016]
- 15 • US 5642452 A [0017]
- US 4767184 A [0018] [0023]
- DE 1765647 [0019]
- US 4837077 A [0024]
- EP 395838 A [0025]