

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 634 523**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/44**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.06.2008 PCT/US2008/007693**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.12.2008 WO09002448**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.06.2008 E 08768664 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.04.2017 EP 2160641**

54 Título: **Cables de fibra óptica que tienen niveles relativamente bajos de polvo hinchable en agua**

30 Prioridad:

**26.06.2007 US 821933**

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

**28.09.2017**

73 Titular/es:

**CORNING OPTICAL COMMUNICATIONS LLC  
(100.0%)  
800 17th Street NW  
Hickory, NC 28601, US**

72 Inventor/es:

**BRINGUIER, ANNE G.;  
MCALPINE, WARREN W.;  
NDAYIZEYE, GEORGE;  
QUINN, CHRISTOPHER M.;  
ROWE, JOHN A.;  
SEDDON, DAVID A.;  
TEDDER, CATHARINA L.;  
TUGMAN, GILBERT D. y  
WITZ, BRIAN S.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 634 523 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**

Cables de fibra óptica que tienen niveles relativamente bajos de polvo hinchable en agua

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere en general a conjuntos de fibra óptica usados para transmitir señales ópticas. Más particularmente, la presente invención se refiere a conjuntos de fibra óptica que tienen niveles relativamente bajos de polvo hinchable en agua junto con métodos para fabricar los mismos.

**Antecedentes técnicos**

10 Las redes de comunicaciones se usan para transportar una diversidad de señales tales como voz, vídeo, datos y similares. A medida que las aplicaciones de las comunicaciones requieren mayor ancho de banda, las redes de comunicación cambian a cables que tienen fibras ópticas puesto que son capaces de transmitir una cantidad extremadamente grande de ancho de banda en comparación con un conductor de cobre. Además, un cable de fibra óptica es mucho más pequeño y ligero en comparación con un cable de cobre que tiene la misma capacidad de ancho de banda. Sin embargo, las fibras ópticas son relativamente sensibles en comparación con los conductores de cobre y conservar su rendimiento óptico puede ser desafiante.

15 En ciertas aplicaciones, los cables de fibra óptica están expuestos a humedad que con el tiempo puede introducirse en el cable de fibra óptica. Para tratar este problema de la humedad, los cables de fibra óptica pretendidos para estas aplicaciones incluyen uno o más componentes para bloquear la migración de agua a lo largo del cable de fibra óptica. A modo de ejemplo, los cables de fibra óptica convencionales bloquean la migración del agua usando un material de relleno y/o un material de inundación tal como gel o grasa dentro del cable de fibra óptica. El material de relleno se refiere a gel o grasa que está en el interior de un tubo con las fibras ópticas, mientras que el material de inundación se refiere a gel o grasa dentro del cable que está fuera del tubo o tubos que alojan las fibras ópticas. El gel o grasa funcionan rellenando los espacios (es decir, los vacíos) de modo que el agua no tiene una trayectoria para fluir dentro del cable de fibra óptica. Adicionalmente, el material de relleno de gel o grasa tiene otras ventajas además de bloqueo del agua, tal como almohadillado y acoplamiento de las fibras ópticas que ayuda a mantener el rendimiento óptico durante los eventos mecánicos o del entorno que afectan al cable de fibra óptica. Dicho de manera sencilla, el material de relleno de gel o grasa es multi-funcional.

20

25

30 Sin embargo, los materiales de relleno de gel o grasa tienen también desventajas. Por ejemplo, el gel o grasa es engorroso y pueden gotear desde un extremo del cable de fibra óptica. Otra desventaja es que el material de relleno debe limpiarse de las fibras ópticas cuando se están preparando para una conexión óptica, que añade tiempo y complejidad para el trabajo manual. Además, limpiar el gel o grasa requiere el trabajo manual para llevar los materiales de limpieza en el campo para eliminar el gel o grasa. Por lo tanto, ha existido una necesidad desde hace mucho tiempo de cables de fibra óptica que eliminen los materiales de gel o grasa mientras aún proporcionen todos los beneficios asociados con los mismos.

35 Los primeros diseños de cable de fibra óptica eliminaron el material de inundación usando componentes de bloqueo del agua secos tales como bandas o hilo fuera de los tubos amortiguadores para inhibir la migración de agua a lo largo del cable. A diferencia del gel o grasa, los componentes de bloqueo del agua secos no son engorrosos y no dejan un residuo que requiera limpieza. Estos componentes de bloqueo del agua secos típicamente incluyen polímeros súper absorbentes (SAP) que absorben agua y se hinchan como resultado, bloqueando de esta manera la trayectoria del agua para inhibir la migración de agua a lo largo del cable de fibra óptica. Hablando en general, los componentes hinchables en agua usan un hilo o banda como un transportador para el SAP. Puesto que los hilos y bandas hinchables en agua se usaron en primer lugar fuera de los tubos que alojan las fibras ópticas, las otras funciones además del bloqueo del agua tales como acoplamiento y atenuación óptica no necesitaron tratarse.

40

45 Eventualmente, los cables de fibra óptica usaron hilos y bandas hinchables en agua dentro de los tubos que alojaron las fibras ópticas para sustituir los materiales de relleno de gel o grasa. Hablando en general, los hilos o bandas hinchables en agua tenían suficientes capacidades de bloqueo del agua, pero no proporcionaban todas las funciones de los materiales de relleno de gel y grasa tales como almohadillado y acoplamiento. Por ejemplo, la banda hinchable en agua y los hilos son voluminosos puesto que son relativamente grandes en comparación con una fibra óptica típica y/o pueden tener una superficie relativamente rugosa. Como resultado, los hilos o bandas hinchables en agua pueden provocar problemas si la fibra óptica se presiona contra los mismos. Dicho de otra manera, las fibras ópticas presionadas contra el hilo hinchable en agua convencional pueden experimentar microflección que puede provocar niveles indeseables de atenuación óptica y/o provocar otros problemas. Además, el nivel deseado de acoplamiento para las fibras ópticas con el tubo puede ser un problema si el cable de fibra óptica no tiene un diseño trenzado puesto que el trenzado proporciona acoplamiento.

50

A modo de ejemplo, la Patente de Estados Unidos N. ° 4.909.592 desvela un ejemplo de componentes hinchables

5 en agua convencionales usados dentro de un tubo amortiguador que tiene fibras ópticas. Aunque, incluir los componentes hinchables en agua convencionales dentro del tubo amortiguador puede provocar aún problemas con el rendimiento de cable de fibra óptica, que requiere limitaciones en el uso y/u otras modificaciones de diseño. Por ejemplo, los cables de fibra óptica que usan hilos hinchables en agua convencionales dentro del tubo amortiguador requieren tubos amortiguadores más grandes para minimizar la interacción de hilos y fibras ópticas hinchables en agua convencionales y/o limitar el entorno donde se usa el cable.

10 Otros primeros diseños de cable de fibra óptica usaron conjuntos de tubo que se rellenaron de manera elevada con SAP como un polvo suelto para bloquear la migración de agua dentro del cable de fibra óptica. Sin embargo, usar un polvo hinchable en agua suelto dentro del cable de fibra óptica creó problemas puesto que los polvos de SAP podrían acumularse/migrar en posiciones dentro del cable de fibra óptica puesto que no se fijó a un transportador tal como un hilo o banda (es decir, los polvos de SAP se acumularían en los puntos inferiores cuando se enrollaran en un carrito debido a la gravedad y/o vibración), provocando de esta manera el bloqueo de agua inconsistente dentro del cable de fibra óptica. También, el polvo hinchable en agua suelto quedaba libre para caerse al final del tubo. Las Figuras 1 y 2 representan respectivamente una vista en sección transversal y una vista en sección transversal longitudinal de un conjunto de fibra óptica seco convencional 10 que tiene una pluralidad de fibras ópticas 1 junto con un polvo hinchable en agua 3 como se representa esquemáticamente dispuesto dentro de un tubo 5. Como se muestra, el conjunto de fibra óptica 10 seco convencional usa una cantidad relativamente grande de polvo hinchable en agua 3 dentro del tubo 5 para bloquear la migración de agua en el mismo. Para reducir la cantidad de polvo hinchable en agua otros diseños de cable de fibra óptica han usado polvos hinchables en agua en combinación con otros componentes de cable para bloqueo de agua eficaz tal como se desvela en la Patente de Estados Unidos N.º 6,253.012. Otro cable de fibra óptica que incluye un polvo hinchable en agua se desvela en el documento US 2002/0159726 A1.

La presente invención trata la necesidad desde hace mucho tiempo de conjuntos de fibra óptica secos que proporcionan rendimiento óptico y mecánico adecuado mientras que son aceptables para el trabajo manual.

## 25 Sumario de la invención

La presente invención se refiere a conjuntos de fibra óptica secos que usan un nivel relativamente bajo de polvo hinchable en agua para bloquear la migración de agua a lo largo de los mismos. Los conjuntos de fibra óptica incluyen una o más fibras ópticas y un polvo hinchable en agua dispuesto dentro de un tubo, una cavidad, un cable o similares. Además, uno o más de los conjuntos de fibra óptica pueden usarse en un cable o pueden formar ellos mismos un cable. Adicionalmente, las realizaciones de la presente invención pueden bloquear eficazmente la migración de agua corriente o agua salina tal como del 3 % en peso.

35 Un aspecto de la presente invención se refiere a un conjunto de fibra óptica que tiene al menos una fibra óptica y un polvo hinchable en agua dispuesto dentro de un tubo donde el tubo tiene un diámetro interno de aproximadamente 2,0 milímetros o menor. El polvo hinchable en agua está dispuesto dentro del tubo para bloquear la migración de agua dentro de una longitud del tubo con una concentración media de aproximadamente 0,02 gramos o menor por metro del conjunto de fibra óptica. Además, el conjunto de fibra óptica puede bloquear una carga de presión de un metro de agua corriente en una longitud de un metro del tubo durante veinticuatro horas.

40 Otro aspecto de la presente invención se refiere a un conjunto de fibra óptica tal como un cable de fibra óptica de tubo suelto trenzado que tiene una pluralidad de tubos, estando dispuesta al menos una fibra óptica dentro de uno de la pluralidad de tubos, formando de esta manera un conjunto de tubo. Un polvo hinchable en agua está dispuesto dentro del conjunto de tubo para bloquear la migración de agua dentro de una longitud del respectivo conjunto de tubo, en el que el polvo hinchable en agua tiene una concentración media de aproximadamente 0,02 gramos o menor por metro del conjunto de tubo. El conjunto de tubo puede bloquear una carga de presión de un metro de agua corriente en una longitud de un metro del tubo durante veinticuatro horas. Adicionalmente, el conjunto de fibra óptica tiene una cubierta de cable que normalmente rodea la pluralidad de tubos.

50 Otro aspecto de la presente invención se refiere a un conjunto de fibra óptica donde la concentración de polvo hinchable en agua dentro de una cavidad de un tubo o similares se cambia de escala al tamaño de la cavidad. Este conjunto de fibra óptica incluye al menos una fibra óptica dispuesta dentro de un tubo, donde el tubo tiene un área en sección transversal de la cavidad medida en milímetros cuadrados, y un polvo hinchable en agua dispuesto dentro del tubo para bloquear la migración de agua dentro de una longitud del tubo. El polvo hinchable en agua tiene una concentración normalizada de aproximadamente 0,01 gramos o menor por metro de longitud del conjunto por milímetro cuadrado del área en sección transversal de la cavidad para calcular una concentración media del polvo hinchable en agua en gramos por metro de longitud para bloquear una carga de presión de un metro de agua corriente en una longitud de un metro durante veinticuatro horas.

55 Otro aspecto más de la presente invención se refiere a un método de fabricación de un conjunto de fibra óptica que comprende las etapas de proporcionar al menos una fibra óptica, aplicar un polvo hinchable en agua a la al menos una fibra óptica, y aplicar un tubo alrededor de la al menos una fibra óptica y el polvo hinchable en agua, en el que el

polvo hinchable en agua tiene una concentración media de aproximadamente 0,02 gramos o menor por metro dentro de la cavidad del tubo. Adicionalmente, los métodos de acuerdo con la invención pueden incluir opcionalmente otras etapas tales como aplicar miembros de resistencia, elementos de acoplamiento y/o pasar la fibra o fibras ópticas después de un ionizador.

5 Adicionalmente, otro aspecto de la presente invención se refiere a un método de fabricación de un cable de fibra óptica que comprende las etapas de proporcionar al menos una fibra óptica, aplicar un polvo hinchable en agua a la al menos una fibra óptica, proporcionar un primer miembro de resistencia y un segundo miembro de resistencia y aplicar un tubo alrededor de la al menos una fibra óptica y el polvo hinchable en agua. El primer miembro de resistencia y el segundo miembro de resistencia están conectados al tubo y pueden incluso encapsularse por el tubo. El primer miembro de resistencia y el segundo miembro de resistencia están tensos elásticamente mientras aplican el tubo durante la fabricación, creando de esta manera un nivel predeterminado de longitud de exceso de fibra en la al menos una fibra óptica.

15 Se ha de entender que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada presentan realizaciones de la invención, y se pretenden para proporcionar una vista general o estructura para entender la naturaleza y carácter de la invención como se reivindica. Los dibujos adjuntos se incluyen para proporcionar un entendimiento adicional de la invención, y se incorporan en, y constituyen una parte de esta memoria descriptiva. Los dibujos ilustran diversas realizaciones de la invención y junto con la descripción sirven para explicar los principios y operaciones el cable A de acuerdo con la invención que se define en la reivindicación 1. Un método correspondiente de fabricación de dicho cable se define en la reivindicación 11.

## 20 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista en sección transversal del conjunto de fibra óptica convencional que usa una cantidad relativamente grande de polvo hinchable en agua para bloquear la migración de agua dentro del mismo.

La Figura 2 es una vista en sección transversal longitudinal del conjunto de fibra óptica convencional de la Figura 1.

25 La Figura 3 es una vista en sección transversal y un conjunto de fibra óptica que usa un nivel relativamente bajo de polvo hinchable en agua para bloquear la migración de agua de acuerdo con la presente invención.

La Figura 4 es una vista en sección transversal longitudinal del conjunto de fibra óptica de la Figura 3 de acuerdo con la presente invención.

30 La Figura 5 es una representación esquemática de una línea de fabricación explicativa para fabricar conjuntos de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

La Figura 6 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica que usa el conjunto de fibra óptica de la Figura 3 de acuerdo con la presente invención.

La Figura 7 es una vista en sección transversal de otro cable de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

35 La Figura 8 es una vista en sección transversal de otro cable de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

La Figura 9 es una vista en sección transversal de otro cable de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

40 La Figura 10 es una vista en sección transversal de otro cable de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

La Figura 11 es una vista en sección transversal de otro cable de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

## Descripción detallada de las realizaciones preferidas

45 La presente invención tiene varias ventajas en comparación con los conjuntos de fibra óptica secos convencionales que usan polvo hinchable en agua. Una ventaja es que los conjuntos de fibra óptica de la presente invención usan niveles relativamente bajos de polvo hinchable en agua mientras aún bloquean de manera eficaz la migración de agua a lo largo de los mismos. Además, la existencia de polvo hinchable en agua dentro del conjunto de fibra óptica o cable es casi transparente para el trabajo manual puesto que se requieren bajos niveles. Adicionalmente, no es necesario limpieza de las fibras ópticas antes de la unión mediante conectores como con gel o grasa y ningún componente, tales como bandas hinchables en agua o hilos requiere que se retire o corte. Otra ventaja de la presente invención es que el polvo hinchable en agua se transfiere, hablando en general, y/o se fija principalmente a la superficie interior del tubo, cavidad, fibra óptica o similares; en lugar de ser un polvo suelto que pueda migrar dentro del tubo o cavidad. En otras palabras, el polvo hinchable en agua está en contacto con la superficie interna del tubo o cavidad y esencialmente no cae debido a la gravedad, sino que en su lugar requiere frotado, soplando u otra agitación para retirar la mayoría del mismo. Adicionalmente, los tubos o cavidades de los conjuntos de fibra óptica pueden tener dimensiones más pequeñas que los conjuntos de cable seco convencionales que usan bandas o hilos. Como se usa en el presente documento, los conjuntos de fibra óptica incluyen conjuntos de tubo que excluyen miembros de resistencia, conjuntos de tubo que tienen miembros de resistencia, cables de fibra óptica y similares.

Se hará ahora referencia a en detalle a las presentes realizaciones preferidas de la invención, ejemplos de las que se ilustran en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, los mismos números de referencia se usarán a lo largo de todos los dibujos para hacer referencia a las mismas partes o similares. Las Figuras 3 y 4 representan respectivamente una vista en sección transversal y en sección transversal longitudinal de un conjunto de fibra óptica 100 (es decir, un conjunto de tubo) de acuerdo con la presente invención. El conjunto de fibra óptica 100 incluye una pluralidad de fibras ópticas 102, y un polvo hinchable en agua 104, y un tubo 106. Las fibras ópticas 102 pueden ser cualquier tipo adecuado de guía de ondas óptica como es conocido o desarrollado más adelante. Además, las fibras ópticas pueden ser una porción de una cinta de fibra óptica, una agrupación de fibras ópticas o similares. En esta realización, las fibras ópticas 102 están coloreadas por una capa externa de tinta (no visible) para identificación y están dispuestas de manera holgada dentro del tubo 106. En otras palabras, las fibras ópticas 102 no están amortiguadas, aunque los conceptos de la presente invención pueden usarse con fibras ópticas que tienen otras configuraciones tales como amortiguadas, encintadas, etc. Como se muestra, el polvo hinchable en agua 104 está dispuesto, hablando en general, de manera uniforme alrededor de la superficie interna del tubo 106 debido al método de fabricación del conjunto de fibra óptica 100 como se analiza en el presente documento. Además, el polvo hinchable en agua 104 tiene una concentración por metro media relativamente pequeña de modo que su uso en el conjunto de fibra óptica 100 es casi transparente al trabajo manual, pero es sorprendentemente eficaz puesto que proporciona rendimiento de bloqueo de agua adecuado. Adicionalmente, el conjunto de fibra óptica 100 no incluye otro componente para bloquear la migración de agua dentro del tubo 106.

A diferencia de los conjuntos de tubo de fibra óptica convencionales, los conjuntos de tubo de fibra óptica usan un polvo hinchable en agua 104 de nivel relativamente bajo mientras aún pueden bloquear una carga de presión de un metro de agua corriente dentro de una longitud de un metro durante veinticuatro horas. Como se usa en el presente documento, el agua corriente se define como agua que tiene un nivel salino del 1 % o menos en peso. De manera similar, los conjuntos de tubo de fibra óptica de la presente invención también pueden ser soluciones salinas de bloqueo de hasta el 3 % en peso que usan los mismos niveles de polvo hinchable en agua en 3 metros durante 24 horas, y el rendimiento de bloqueo puede incluso detener la solución salina al 3 % en aproximadamente 1 metro durante 24 horas dependiendo del diseño. A modo de ejemplo, el polvo hinchable en agua 104 tiene una concentración media de aproximadamente 0,02 gramos o menor por metro del conjunto de fibra óptica 100, donde el tubo 106 tiene un diámetro interno de aproximadamente 2,0 milímetros o menor. Adicionalmente, los conceptos de la presente invención son escalables, por ejemplo, un área en sección transversal de la cavidad para el tubo de diámetro interno de 2,0 milímetros es aproximadamente 3,14 milímetros cuadrados, produciendo de esta manera un valor de concentración normalizada de aproximadamente 0,01 gramos de polvo hinchable en agua por longitud de metro del conjunto de tubo (es decir, se proporciona la concentración normalizada por milímetro cuadrado de área en sección transversal de la cavidad tomando la concentración media de 0,02 gramos por metro de longitud de polvo hinchable en agua dividida por el área en sección transversal de la cavidad de aproximadamente 3 milímetros cuadrados para producir un valor de concentración normalizada de aproximadamente 0,01 gramos de polvo hinchable en agua por milímetro cuadrado del área en sección transversal de la cavidad del tubo cuando se redondea hacia arriba). En consecuencia, la concentración media en gramos por metro de polvo hinchable en agua para cavidades de los tubos o cables de fibra óptica que tienen un área en sección transversal predeterminada que puede cambiarse de escala (es decir, calcularse), por consiguiente usando el valor de concentración normalizada tal como de 0,01 gramos de polvo hinchable en agua por longitud de metro por cada milímetro cuadrado de área en sección transversal de la cavidad. En realizaciones adicionales, el polvo hinchable en agua puede tener un valor inferior para la concentración media de polvo hinchable en agua tal como de aproximadamente 0,01 gramos o menor por metro del conjunto de fibra óptica 100 con un tubo que tiene un diámetro interno similar de 2,0 milímetros, que produce un valor de concentración normalizada inferior de aproximadamente 0,004 gramos de polvo hinchable en agua por milímetro cuadrado del área en sección transversal de la cavidad del tubo cuando se redondea hacia arriba. Dicho de manera sencilla, a medida que aumenta el área en sección transversal de la cavidad del tubo o similar, la cantidad de polvo hinchable en agua necesario para bloquear de manera eficaz la migración de agua a lo largo del mismo puede aumentar en general de manera proporcional como se analiza en el presente documento.

El peso del polvo hinchable en agua en el conjunto de fibra óptica se calcula usando el siguiente procedimiento. Se cortó un número representativo de muestras, tal como cinco muestras de un metro de los conjuntos de tubo de fibra óptica del conjunto que se estaba ensayando. Las muestras se tomaron preferentemente de diferentes porciones longitudinales a lo largo del conjunto de fibra óptica en lugar de cortar en serie muestras a partir del mismo. Cada muestra de un metro se pesó con las fibras ópticas y el polvo hinchable en agua en el tubo para determinar un peso total de la muestra usando una balanza adecuadamente precisa y exacta. Posteriormente, se tiró de las fibras ópticas (junto con cualquier otro componente de cable extraíble dentro del tubo, cavidad, o similares) del tubo. Las fibras ópticas (y cualesquiera otros componentes de cable) se frotaron con un tejido fino para eliminar cualquier polvo hinchable en agua en las mismas y a continuación se pesaron las fibras ópticas (y otros componentes de cable) para determinar su peso sin el polvo hinchable en agua. A continuación, el tubo se abrió a lo largo de su longitud longitudinal usando una herramienta adecuada de modo que el polvo hinchable en agua en el mismo pudiera frotarse del tubo teniendo cuidado de asegurar que se eliminara sustancialmente, a continuación el tubo frotado se pesó para determinar su peso sin el polvo hinchable en agua. Posteriormente, la suma del peso de la fibra óptica (y otros componentes de cable) junto con el peso del tubo se restó del peso total para la muestra para determinar el peso del polvo hinchable en agua en la respectiva muestra. Este procedimiento se repitió para cada

una del número representativo de muestras. La concentración media de polvo hinchable en agua se calculó añadiendo todos los pesos calculados de los polvos hinchables en agua para las muestras y dividiendo por el número de muestras, llegando de esta manera a una concentración media del polvo hinchable en agua por metro para el conjunto de fibra óptica.

5 Además del bloqueo en agua con niveles relativamente bajos de polvo hinchable en agua, los conjuntos de tubo de fibra óptica y/o cables de la presente invención tales como el conjunto de fibra óptica 100 conservan el rendimiento óptico de las fibras ópticas 102 en el mismo. Por ejemplo, la fibra o fibras ópticas de los conjuntos de tubo de fibra óptica tienen una atenuación óptica de aproximadamente 0,25 db/km o menor a una longitud de onda de referencia de 1550 nanómetros durante ciclos de temperatura convencional bajo GR-20, realizando ciclos de temperatura de hasta -40 °C. Adicionalmente, los conjuntos de tubo de fibra óptica se han realizado ciclos de temperatura ventajosamente a una longitud de onda de referencia de 1550 nanómetros hasta -60 °C usando procedimientos similares a GR-20 mientras aún tienen un delta de atenuación de aproximadamente 0,25 db/km o menor sin tener que modificar el diseño.

15 Un factor que puede afectar el rendimiento óptico es el tamaño de partícula máximo, tamaño medio y/o distribución de tamaño de partícula de polvo hinchable en agua 104, que puede impactar la microflexión si las fibras ópticas entraran en contacto con (es decir, se presionaran) las partículas hinchables en agua. Además, usar polvos hinchables en agua que tienen partículas relativamente pequeñas mejora la transparencia de las mismas al trabajo manual cuando se abre el tubo. El tamaño de partícula medio para el polvo hinchable en agua es preferentemente aproximadamente 100 micrómetros o menor, aunque son posibles otros tamaños de partículas máximos adecuados tales como 60 micrómetros o menor. Usar SAP con un tamaño de partícula máximo algo mayor puede aún mejorar el rendimiento aceptable, pero usar un tamaño de partícula máximo mayor aumenta la probabilidad de experimentar atenuación óptica aumentada. Un polvo hinchable en agua explicativo es un poliacrilato sódico reticulado disponible de Stockhausen, Inc. de Greensboro, NC bajo el nombre comercial Cabloc GR-211. La distribución de partículas para este polvo hinchable en agua explicativo se proporciona mediante la Tabla 1.

25 **Tabla 1: Distribución de partícula para un polvo hinchable en agua explicativo**

Tamaño de partícula	Porcentaje aproximado
Mayor de 63 micrómetros	0,2 %
de 45 micrómetros a 63 micrómetros	25,7 %
de 25 micrómetros a 44 micrómetros	28,2 %
Menor de 25 micrómetros	45,9%

30 Por supuesto, son posibles otros polvos hinchables en agua y/u otras distribuciones de partícula. Otro poliacrilato sódico reticulado adecuado está disponible a partir de Absorbent Technologies, Inc. bajo el nombre comercial Aquakeep J550P, aunque son posibles también otros tipos de materiales hinchables en agua. A modo de ejemplo, otro polvo hinchable en agua adecuado es un copolímero de acrilato y poliacrilamida, que es eficaz con soluciones salinas. Adicionalmente, son posibles mezclas de dos o más materiales y/o polvos hinchables en agua tales como la mezcla de un polvo hinchable en agua de hinchado lento y un polvo hinchable en agua de hinchado rápido. Análogamente, una mezcla de polvo hinchable en agua puede incluir un primer polvo hinchable en agua que es altamente eficaz para una solución salina y un segundo polvo hinchable en agua eficaz para agua corriente. Las mezclas del polvo hinchable en agua pueden incluir componentes que no son intrínsecamente hinchables en agua. A modo de ejemplo, pueden añadirse pequeñas cantidades de sílice, tal como el 1 %, a un polvo hinchable en agua para mejorar las propiedades de flujo y/o inhibir la anti-aglomeración debido a absorción de humedad.

40 Otro factor que puede afectar el rendimiento óptico es la longitud de exceso de fibra (EFL) o longitud de exceso de banda (ERL). Como se usa en el presente documento, la longitud de exceso de fibra puede hacer referencia a cualquiera de EFL o ERL, pero hablando en general ERL simplemente se refiere a longitud de exceso de banda. Los conjuntos de fibra óptica de la presente invención tales como se muestran en la Figura 3 preferentemente tienen una longitud de exceso de fibra que está preferentemente en el intervalo de aproximadamente el -0,1 % a aproximadamente el 0,3 % para crear contracción aceptable y ventanas de tracción dependiendo del diámetro interno del tubo, aunque son posibles otros valores adecuados de longitud de exceso de fibra o longitud de exceso de banda especialmente con otras configuraciones de conjuntos de fibra óptica.

50 Adicionalmente, la presente invención puede inhibir el pegado entre las fibras ópticas y el tubo sin usar una capa de separación u otro material. Específicamente, los conjuntos de fibra óptica pueden tener problemas con las fibras ópticas que entran en contacto y se pegan al tubo mientras está en estado fundido cuando se extruye alrededor de las fibras ópticas. Si la fibra óptica se pega al interior del tubo puede provocar que se distorsione la trayectoria de las fibras ópticas (es decir, la fibra óptica se evita que se mueva en ese punto), que puede inducir niveles indeseables

de atenuación óptica. Como se representa en las Figuras 3 y 4, el tubo 106 está dispuesto alrededor de las fibras ópticas 102 del conjunto de fibra óptica 100 sin usar un material o componente adicional como una capa de separación (por ejemplo, ningún gel, grasa, hilo, banda, talco, etc.) para inhibir el contacto entre las fibras ópticas y el tubo fundido. Se inhibe el pegado puesto que el polvo hinchable en agua es un material reticulado de modo que

5 no promueve el pegado en el mismo a temperaturas de extrusión típicas. Por lo tanto, el polvo hinchable en agua 104 tiende a actuar como una capa de separación puesto que inhibe que las fibras ópticas 102 se peguen al tubo fundido durante la fabricación. Sin embargo, pueden incluirse otros componentes de cable en el tubo o cavidad.

Además, el polvo hinchable en agua 104 actúa para reducir la fricción entre las fibras ópticas y el tubo o pared de la cavidad actuando como una capa deslizante. Dicho de manera sencilla, las partículas del polvo hinchable en agua

10 104 actúan como rodamientos entre las fibras ópticas 102 y la pared interna del tubo para reducir la fricción entre las mismas y permitir que las fibras ópticas se muevan a un "estado relajado". En otras variaciones, las realizaciones de la presente invención pueden usar opcionalmente un lubricante en o sobre la capa externa de las fibras ópticas, reduciendo de esta manera el riesgo de que las fibras ópticas se peguen al tubo extruido y/o reduciendo la fricción entre las mismas. Por ejemplo, las fibras ópticas 102 pueden incluir una capa externa tal como una tinta que tiene un

15 lubricante adecuado para inhibir que las fibras ópticas 102 se peguen al tubo fundido 106 durante la extrusión del mismo. Los lubricantes adecuados incluyen aceite de silicona, talco, sílice o similares usados en una cantidad adecuada que inhibirá el "apelmazamiento" y estarán dispuestos en o sobre la capa externa. Son posibles también otros métodos para inhibir el pegado de las fibras ópticas con el tubo. Por ejemplo, el tubo 106 puede incluir una o

20 más cargas adecuadas en el polímero, inhibiendo de esta manera la adherencia de las fibras ópticas con el tubo. Adicionalmente, el uso de otros materiales poliméricos para el tubo tales como PVC altamente cargado puede inhibir el pegado de las fibras ópticas al tubo. Adicionalmente, el tubo 106 puede tener una construcción de capa dual teniendo una capa interna del tubo una o más cargas adecuadas en el polímero para inhibir la adhesión. Otra manera de inhibir el pegado de las fibras ópticas es aplicar un lubricante a la pared interna del tubo o cavidad poco después de formar el mismo.

25 El tubo 106 puede usar cualquier material polimérico adecuado para alojar y proteger las fibras ópticas 102 en el mismo. Por ejemplo, el tubo 106 puede ser un polipropileno (PP), polietileno (PE), o mezclas de materiales tales como una mezcla de PE y etilen vinil acetato (EVA). En otras realizaciones, el tubo 106 está formado a partir de un material retardante de llama tal como polietileno retardante de llama, polipropileno retardante de llama, cloruro de polivinilo (PVC), o PVDF, formando de esta manera una porción de un cable de fibra óptica retardante de llama. Sin embargo, el tubo 106 no necesita estar formado necesariamente de un material retardante de llama para fabricar un

30 cable de fibra óptica retardante de llama. Hablando en general, todas las otras cosas que sean iguales al tubo 106 pueden tener un ID de diámetro interno más pequeño en comparación con conjuntos de tubo seco que incluyen un hilo, banda o hebra hinchable en agua (es decir, un transportador para el SAP) con las fibras ópticas. Esto es debido a que el tubo 106 no tiene que proporcionar el espacio tanto para las fibras ópticas como para el transportador del SAP (es decir, el hilo o hilos o las bandas); en consecuencia el ID de diámetro interno puede ser más pequeño. Por ejemplo, tener un ID de diámetro interno más pequeño para el tubo 106 es también ventajoso puesto que permite un diámetro externo más pequeño, un conjunto más flexible que tiene un radio de curvatura más pequeño (que puede reducir el retorcimiento), es más ligero en peso por longitud, y puede adaptarse a longitudes más largas en un

40 De manera ilustrativa, pueden alojarse doce fibras ópticas de 250 micrómetros con tamaño convencional que tienen un diámetro global de aproximadamente 1,2 milímetros en un tubo o cavidad con el ID de diámetro interno tal como aproximadamente 1,7 milímetros o menor, tal como 1,6 milímetros o incluso tan pequeño como 1,5 milímetros o 1,4 milímetros con rendimiento adecuado hasta los -40 °C. Son posibles otros ID de diámetros internos adecuados para el tubo y el ID puede depender del número de fibras ópticas dentro del tubo o cavidad. Por medio de comparación,

45 un conjunto de fibra óptica convencional con doce fibras ópticas y una pluralidad de hilos hinchables en agua requiere un diámetro interno de aproximadamente 2,0 milímetros para acomodar tanto los hilos hinchables en agua como las fibras ópticas.

La Figura 5 es una representación esquemática de una línea de fabricación explicativa para fabricar el conjunto de fibra óptica 100 (es decir, un conjunto de tubo) usando un método electroestático de acuerdo con la presente invención. El método electroestático desvelado en el presente documento es ventajoso puesto que, hablando en general, lleva el polvo hinchable en agua 104 en el tubo o cavidad, proporcionando de esta manera una capa fina del mismo en la pared interna, las fibras ópticas u otros componentes. Además, el polvo hinchable en agua se inhibe de migrar a lo largo del tubo o cavidad como es el caso con un método de inyección directa o método de niebla (es decir, pasar la fibra o fibras ópticas a través de una nube de polvo en suspensión en el aire), que puede moverse

55 bajo fuerzas gravitacionales. Como se muestra, la línea de fabricación incluye una pluralidad de carretes 51 para satisfacer una pluralidad de respectivas fibras ópticas 102. Esta línea de fabricación explicativa incluye doce fibras ópticas 102, pero son posibles otros números adecuados de fibras ópticas. Las fibras ópticas 102 dejan sus respectivos carretes 51 con una carga estática positiva. Las cargas estáticas analizadas a continuación se midieron usando un medidor estático y son simplemente para fines explicativos y no para limitación. A modo de ejemplo, la carga estática positiva en cada fibra óptica 102 individual está en el intervalo de aproximadamente +1,8

60 kV/centímetro (+4,5 kV/pulgada) a aproximadamente +2,0 kV/centímetro (+5,0 kV/pulgada). A continuación, las

5 fibras ópticas 102 pasan a través de un conjunto de rodillos de guía 52 y en un troquel de guiado 53. Posteriormente, las fibras ópticas 102 pasan por un ionizador opcional 54 antes de que se aplique a las mismas el polvo hinchable en agua 104. El ionizador 54 ducha las fibras ópticas 102 con un campo de iones cargados positiva y negativamente, reduciendo de esta manera la carga estática positiva global de las fibras ópticas 102 y estabilizando el proceso. De manera ilustrativa, el ionizador 54 reduce la carga positiva global en las fibras ópticas 102 al intervalo de aproximadamente +0,2 kV/centímetro (+0,6 kV/pulgada) a aproximadamente +0,0 kV/centímetro (0,0 kV/pulgada). A continuación, como se entiende mejor, las fibras ópticas 102 pasan en un aplicador de polvo hinchable en agua 56 que aplica el polvo hinchable en agua 104 a las fibras ópticas 102 y/o a una superficie interna del tubo 106 usando una combinación de fuerzas de atracción electroestáticas y/o movimiento mecánico.

10 Específicamente, el polvo hinchable en agua 104 se carga en una tolva 56a que usa un movimiento vibratorio para hacer fluir el mismo en un aplicador de polvo hinchable en agua 56b. El polvo hinchable en agua 104 desarrolla una carga estática negativa dentro del aplicador de polvo hinchable en agua 56 debido a la interacción entre el polvo hinchable en agua y las fibras ópticas 102. A modo de ejemplo, la carga estática negativa en el polvo hinchable en agua 104 está en el intervalo de aproximadamente -1,1 kV/centímetro (-2,8 kV/pulgada) a aproximadamente -2,4 kV/centímetro (-6,0 kV/pulgada). En consecuencia, el polvo hinchable en agua cargado negativamente 104 tiene una fuerza de atracción electroestática con las fibras ópticas ligeramente cargadas positivamente 102 y algo del polvo hinchable en agua 104 se transfiere a las fibras ópticas 102. Adicionalmente, el movimiento mecánico de las fibras ópticas 102 imparte una velocidad al polvo hinchable en agua 104, provocando de esta manera que el polvo hinchable en agua 104 se mueva en una nube de polvo cargado electroestáticamente alrededor de las fibras ópticas 102. Después de que las fibras ópticas 102 con polvo hinchable en agua 104 salen del aplicador de polvo hinchable en agua 56 tienen una carga electroestática global (es decir, la carga neta de las fibras ópticas y el polvo hinchable en agua) en el intervalo de aproximadamente +1,2 kV/centímetro (+3,1 kV/pulgada) a aproximadamente +1,6 kV/centímetro (+4,0 kV/pulgada). A medida que las fibras ópticas 102 con el polvo hinchable en agua 104 salen del aplicador 56 entran en un tubo (no visible) tal como un tubo de latón que guía las mismas a un extrusor 57 y se usa para la contención de polvo hinchable en agua 104. Las fibras ópticas 102 con el polvo hinchable en agua 104 que tiene la carga positiva neta entran en un extrusor 57 que aplica el tubo 106 alrededor de las fibras ópticas 102 y el polvo hinchable en agua 104. El tubo 106 se extruye a partir de un polímero tal como polipropileno u otro polímero adecuado, que, hablando en general, tiene una carga intrínsecamente neutral. A medida que las fibras ópticas 102 y la nube de polvo hinchable en agua cargado negativamente 104 entran en el tubo 106 al que se aplican, las cargas negativas en las partículas de polvo hinchable en agua 104 tienden a repulsarse unas con las otras en una dirección hacia fuera generalmente radial. Adicionalmente, la nube de partículas hinchables en agua 104 se mueve hacia delante con el movimiento mecánico de las fibras ópticas 102, que provoca que algunas de las partículas hinchables en agua impacten un cono de un polímero fundido que forma el tubo 106 a medida que sale del extrusor 57. Específicamente, el cono de polímero fundido que es mucho mayor en diámetro a medida que deja el extrusor 57, se mueve a una velocidad inferior fuera del extrusor 57 en comparación con las fibras ópticas 102 y el tubo 106. A medida que el cono del polímero fundido se extrae hasta una forma tubular casi final, su velocidad superficial aumenta hasta que viaja a la misma velocidad que las fibras ópticas 102. Por lo tanto, una combinación de movimiento mecánico de polvo hinchable en agua 104 y efectos electroestáticos provoca que se deposite polvo hinchable en agua 104, en parte, en la superficie interna del tubo 106. Puesto que la superficie interna del tubo 106 aún está fundida, el polvo hinchable en agua 104 se transfiere y/o fija al menos parcialmente al mismo de una manera relativamente uniforme. Hablando en general, un anillo de polvo hinchable en agua 104 se transfiere y/o fija a la pared interna del tubo 106 mediante un efecto mecánico (es decir, entra en contacto con la misma) y/o carga electroestática. Además, el polvo hinchable en agua 104 puede estar también fijado al menos parcialmente al polímero fundido del tubo 106 antes de que se solidifique. Después de la extrusión, el conjunto de fibra óptica 100 se enfría en una cubeta de agua 58 y se enrolla en un carrete de recogida 59.

50 Son posibles modificaciones a esta línea de fabricación explicativa tal como usar diferentes intervalos para las cargas electroestáticas y/o introducir otros componentes de cable. Por ejemplo, la línea de fabricación podría modificarse para incluir aplicar uno o más miembros de resistencia 97 desde uno o más respectivos carretes 97a y/o elementos de acoplamiento 121 desde uno o más respectivos carretes 121a en el extrusor 57 como se muestra en la Figura 9 o la Figura 11 como se analiza a continuación. Adicionalmente, el método para fabricar el conjunto de fibra óptica puede usarse para aplicar niveles de polvo hinchable en agua que tienen una concentración media que es mayor de 0,02 gramos por metro para el tubo o cavidad. Esto es debido a que la cantidad de polvo hinchable en agua necesario para bloquear agua de manera eficaz puede ser dependiente del área en sección transversal del tubo o cavidad (es decir, el diseño de cable de fibra óptica particular), donde el tamaño de la cavidad puede depender del recuento y configuración de las fibras ópticas. Además, usar el proceso de aplicación electroestático para aplicar el nivel relativamente bajo (es decir, 0,02 gramos por metro para el tubo o cavidad) del polvo hinchable en agua mientras se proporciona bloqueo de agua eficaz es aproximadamente la mitad de la cantidad de material hinchable en agua requerido si se aplicó usando los métodos de inyección directa o niebla.

60 La Figura 6 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica 60 que usa varios conjuntos de fibra óptica 100 de acuerdo con la presente invención. Como se representa, los conjuntos de fibra óptica 100 están trenzados alrededor de un miembro central 61 junto con una pluralidad de varillas de relleno 62 y una pluralidad de

- hilos de resistencia a la tracción 63, que tienen una banda hinchable en agua 65 dispuesta alrededor de los mismos, formando de esta manera un núcleo de cable de fibra óptica (sin numeración). El cable de fibra óptica 60 también incluye una cubierta de cable dispuesta alrededor del núcleo de cable para proteger la misma. Cualesquiera elementos de intensidad adecuados son posibles para los hilos de resistencia a la tracción 63 tales como hilos
- 5 aramídicos, fibra de vidrio o similares. El cable de fibra óptica 60 puede incluir también otros componentes tales como uno o más hilos hinchables en agua o una banda hinchable en agua dispuesta alrededor del miembro central 61. Adicionalmente, el cable de fibra óptica puede eliminar elementos tales como el miembro central u otros componentes de cable si no fueran necesarios. La cubierta del cable 68 de los cables de fibra óptica 60a y 60b puede usar cualquier material adecuado tal como un polímero para proporcionar protección contra el entorno.
- 10 En una realización, la cubierta del cable 68 está formada de un material retardante de llama, haciendo de esta manera al cable de fibra óptica retardante de llama. Análogamente, el tubo 106 del conjunto de fibra óptica 100 puede también estar formado de un material retardante de llama, pero usar un retardante de llama para el tubo puede no ser necesario para fabricar un cable retardante de llama. A modo de ejemplo, un cable de fibra óptica retardante de llama puede incluir la cubierta del cable 68 formada de un fluoruro de polivinilideno (PVDF) y el tubo
- 15 106 formado de un cloruro de polivinilo (PVC). Por supuesto, es posible el uso de otros materiales retardantes de llama tales como polietileno retardante de llama o polipropileno retardante de llama.

La Figura 7 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica 70 que es similar al cable de fibra óptica 60, pero que incluye adicionalmente una capa de blindaje 77. Como el cable de fibra óptica 60, el cable de fibra óptica 70 incluye una pluralidad de conjuntos de fibra óptica 100 trenzados alrededor de un miembro central 71 junto

20 con una pluralidad de varillas de relleno 72 y una banda hinchable en agua 75, formando de esta manera un núcleo de cable (sin numeración). La capa de blindaje 77 está dispuesta alrededor de la banda hinchable en agua 75 y como se muestra está formada de un material metálico, aunque pueden usarse otros materiales adecuados para la protección tal como una protección polimérica. El cable de fibra óptica 70 también incluye una cubierta de cable 78 dispuesta alrededor de la capa de blindaje 77.

La Figura 8 es una vista en sección transversal de otro cable de fibra óptica 80 configurado como un diseño de cable de fibra óptica monotubo. Más específicamente, el cable de fibra óptica 80 incluye un único conjunto de fibra óptica (sin numeración) similar al conjunto de fibra óptica 100 con fibras ópticas 102 y polvo hinchable en agua 104 dentro

25 del tubo 106, pero incluye adicionalmente una pluralidad de elementos de acoplamiento 81 opcionales para proporcionar una fuerza de acoplamiento a las fibras ópticas 102. Puesto que este es un diseño monotubo, el acoplamiento no se proporciona trenzando los conjuntos de fibra óptica como los cables de fibra óptica 60 y 70. Los elementos de acoplamiento 81 pueden ser cualquier construcción adecuada y/o material tal como una cadena, hebra, hilo, banda, elemento elastomérico, o similares que pueda envolverse alrededor de la fibra o fibras ópticas o disponerse longitudinalmente en el tubo o cavidad. Otras variaciones para crear el acoplamiento incluyen una rugosidad superficial en la superficie interna del tubo o cavidad o extruir un material en las fibras ópticas tal como un

30 elastómero, cola fugitiva o similares. Según se desee, otras realizaciones pueden incluir cualquier otro elemento o elementos de acoplamiento adecuados. El cable de fibra óptica 80 también incluye una pluralidad de miembros de resistencia 88 tales como hilos de tracción dispuestos radialmente hacia fuera del tubo 106, pero son posibles otros tipos de miembros de resistencia tal como GRP. Una cubierta de cable 88 está dispuesta alrededor de los miembros de resistencia 88 para proporcionar protección frente al entorno.

Aunque, las realizaciones anteriores representan el conjunto de fibra óptica o cable de fibra óptica como que está redondeado pueden tener otras formas y/o incluir otros componentes. Por ejemplo, la Figura 9 es una vista en

35 sección transversal de un cable de fibra óptica 90 de acuerdo con la presente invención. El cable de fibra óptica 90 incluye las fibras ópticas 102 y el polvo hinchable en agua 104 dentro de una cavidad 96 de la cubierta del cable 98, que esencialmente es un tubo para el conjunto de fibra óptica. En esta realización, la cubierta de cable 98 no está redondeada y forma la cavidad 96 para alojar las fibras ópticas 102 y el polvo hinchable en agua 104. Dicho de manera sencilla, el cable de fibra óptica 90 es una configuración sin tubo puesto que puede accederse a las fibras ópticas 102 una vez que se abre la cubierta de cable 98. Además, el tubo 98 incluye los elementos de resistencia 97 dispuestos en el mismo (es decir, encapsulados dentro de la cubierta del cable) y en lados opuestos de la cavidad 96, formando de esta manera un tubo reforzado o blindaje de cable. Por supuesto, la cavidad 96 podría tener otras

40 formas tales como generalmente rectangular para ajustarse en general a la forma de una o más bandas de fibra óptica.

Como se ha analizado anteriormente, la Figura 9 y similares, el cable de fibra óptica puede fabricarse usando la línea de fabricación explicativa de la Figura 5. Específicamente, puesto que el diseño es sin tubo su proceso de fabricación ventajosamente tensa elásticamente los miembros de resistencia (proporcionando una fuerza de tracción

45 como se representa por las flechas) para crear y/o controlar la longitud de exceso de fibra/longitud de exceso de banda (EFL/ERL) como se representa en el recuadro de línea discontinua de la Figura 5. El cable de fibra óptica 90 sin tubo tiene una forma generalmente plana, pero los conceptos de estirar elásticamente los miembros de resistencia son adecuados con cualquier forma en sección transversal adecuada para el cable tal como redondeada. Específicamente, los miembros de resistencia 97 de esta realización explicativa son GRP que tienen una pluralidad

50 de hebras 12 sujetas juntas mediante un revestimiento y los GRP tienen un diámetro externo de aproximadamente

1,6 milímetros, pero son posibles otros tamaños para los miembros de resistencia.

Los miembros de resistencia 97 satisfacen a los respectivos carretes 97a bajo una tensión relativamente alta (por ejemplo entre aproximadamente 45,36 a aproximadamente 181,44 kilos (100 a aproximadamente 400 libras) usando respectivos cabrestantes de miembros de resistencia 97b, estirando elásticamente de esta manera los miembros de resistencia 97 (representados por las flechas) de modo que se produce la longitud de exceso de fibra EFL (o ERL) en el cable de fibra óptica sin tubo 90. En otras palabras, después de que se libera la tensión en los miembros de resistencia 97 vuelven a su longitud no tensionada original (es decir más corta), produciendo de esta manera EFL puesto que las fibras ópticas se introdujeron en el cable de fibra óptica con aproximadamente la misma longitud que los miembros de resistencia tensionados y las fibras ópticas no se estiraron. Dicho de otra manera, la cantidad de EFL producida es igual a aproximadamente la tensión del miembro de resistencia (es decir, el estiramiento de manera elástica del miembro de resistencia) más cualquier contracción plástica de la cubierta del cable que pueda tener lugar. La tensión del miembro de resistencia puede crear una cantidad significativa de EFL o ERL en una producción de una pasada tal como el 10 % o más, el 25 % o más, el 50 % o más, e incluso hasta el 80 % o más de la EFL o ERL total dentro del cable. Adicionalmente, el estiramiento de manera elástica del miembro de resistencia es ventajoso puesto que permite un control preciso de la cantidad de EFL o ERL que se introduce en el cable y reduce enormemente la desalineación del miembro de resistencia puesto que la cubierta de cable finalizada está en compresión en lugar de en tensión. Para la fabricación del cable de fibra óptica sin tubo 90, se introduce aproximadamente el 95% de EFL en el cable estirando elásticamente los miembros de resistencia. Como se muestra mediante la Figura 5, la cubierta del cable (es decir, el tubo) se está aplicando alrededor de las fibras ópticas, el polvo hinchable en agua y los miembros de resistencia mediante un extrusor de cabezal transversal 57 mientras que los miembros de resistencia 97 están estirados elásticamente. Después de la extrusión, el cable 90 a continuación se enfría en una cubeta de agua 58 mientras que el miembro de resistencia está aún estirado elásticamente, permitiendo de esta manera que la cubierta del cable se “congele” en los miembros de resistencia estirados. El cable de fibra óptica sin tubo 90 se extrae a continuación a través de la línea de fabricación usando uno o más orugas de arrastre (no mostradas) y a continuación se enrolla en el carrete de recogida 59 bajo tensión baja (es decir, se libera la fuerza de tracción que estiró elásticamente los miembros de resistencia y los miembros de resistencia vuelven a una longitud relajada creando de esta manera ERL o EFL en el cable). Por supuesto, esto es simplemente una línea de fabricación explicativa y son posibles otras modificaciones.

La Figura 10 representa una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica 110 que tiene un cuerpo de cable principal 101 y un lóbulo rastreado 103. El cable de fibra óptica 110 incluye un conjunto de fibra óptica 100 que tiene fibras ópticas 102 y polvo hinchable en agua 104 dentro del tubo 106. El cable de fibra óptica 110 puede incluir también uno o más hilos hinchables en agua (no visibles) o una banda hinchable en agua dispuesta alrededor del tubo 106 para bloquear la migración de agua a lo largo del cable de fibra óptica fuera del conjunto de fibra óptica 100. El cable de fibra óptica 110 también incluye una pluralidad de miembros de resistencia 107 tal como el GRP dispuesto en lados opuestos del tubo 106. Aunque se muestran los miembros de resistencia 107 ligeramente espaciados alejados del tubo 106 pueden entrar en contacto de la misma manera. Además, son posibles otros materiales para los miembros de resistencia 107 tales como alambres de acero u otros componentes adecuados. El cable de fibra óptica 110 también incluye una cubierta de cable 108 formada a partir de un polímero adecuado, que forma una porción del cuerpo de cable principal 101 y lóbulo rastreado 103 como se muestra. El lóbulo rastreado 103 incluye un alambre rastreado 103a que es un elemento conductor adecuado tal como alambre de cobre o alambre de acero recubierto de cobre adecuado para enviar una señal para localizar cable de fibra óptica 110 cuando se entierra. A modo de ejemplo, el alambre rastreado 103a es un alambre de cobre de calibre 24 AWG. Adicionalmente, el lóbulo rastreado 103 tiene una red frangible (sin numeración) para separar la misma del cuerpo de cable principal 101 cuando se desee tal como antes de la unión mediante conectores. Por supuesto, son posibles otras variaciones.

La Figura 11 representa una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica 120 que es una configuración sin tubo que tiene una pluralidad de bandas de fibra óptica 122 en el mismo según se representa mediante las líneas horizontales. Aunque el cable de fibra óptica 120 se muestra como un diseño de cable generalmente plano podría tener otra forma adecuada tal como la variación de un cable plano o un cable redondeado. Como se ha analizado anteriormente, la fabricación del cable de fibra óptica 120 es similar a la fabricación del cable de fibra óptica de la Figura 9 usando la línea de fabricación explicativa de la Figura 5 con la adición de uno o más carretes 121a para aplicar uno o más respectivos elementos de acoplamiento. Sin embargo, en lugar de los carretes 51 que tienen fibras ópticas individuales 12, el número deseado de carretes 51 tendría cada uno una cinta de fibra óptica que tiene una pluralidad de fibras ópticas 12 en la misma. Las bandas de fibra óptica incluyen una pluralidad de fibras ópticas (no visibles) fijadas juntas usando un material de la matriz adecuado tal como una matriz curable por UV. Específicamente, el cable de fibra óptica 120 incluye cuatro bandas de fibra óptica 122 teniendo cada una veinticuatro fibras ópticas para un total de noventa y seis fibras ópticas, formando de esta manera una pila de cinta (sin numeración). Los cables de fibra óptica similares pueden tener otros recuentos de fibra dentro de la cinta y/o el cable de fibra óptica. Como se ha descrito anteriormente, el cable de fibra óptica 120 incluye una cantidad relativamente pequeña de polvo hinchable en agua 104 que, hablando en general, está dispuesta al menos parcialmente en la superficie interna de una cavidad 126 de una cubierta de cable 128 (que actúa como un tubo para el conjunto) y/o en la cinta o cintas de fibra óptica. Por ejemplo, el polvo hinchable en agua 104 tiene una

concentración normalizada de aproximadamente 0,01 gramos o menor por metro por cada milímetro cuadrado de cavidad 126 del conjunto de fibra óptica, aunque pueden usarse otras cantidades adecuadas. A modo de ejemplo, la cavidad 126 está dimensionada para recibir bandas de fibra óptica (es decir, componentes de fibra óptica) y tiene una anchura de cavidad medida en milímetros y una altura de cavidad medida en milímetros, que se multiplican  
5 juntas para calcular un área en sección transversal de la cavidad en milímetros cuadrados. La pila de bandas de fibra óptica también tiene un área en sección transversal total medida en milímetros cuadrados. La concentración media de polvo hinchable en agua puede calcularse usando el área en sección transversal de la cavidad o un área en sección transversal de la cavidad efectiva. El área en sección transversal de la cavidad efectiva se define como el  
10 área en sección transversal de la cavidad menos el área en sección transversal de los componentes deseados en la misma tales como las bandas de fibra óptica dentro de la cavidad, se calcula una sección transversal eficaz restando el área en sección transversal de las bandas de fibra óptica del área en sección transversal de la cavidad, que produce un área en sección transversal de la cavidad efectiva en milímetros cuadrados. Por lo tanto, una concentración media para la cantidad de polvo hinchable en agua en este diseño se calcula tomando las veces de  
15 concentración normalizada deseada (gramos por metro de longitud del conjunto por milímetro cuadrado de la cavidad) del área en sección transversal de la cavidad efectiva (milímetros cuadrados), que produce una concentración media para el polvo hinchable en agua en gramos por metro de longitud del conjunto.

Adicionalmente, el cable de fibra óptica 120 puede incluir opcionalmente uno o más elementos de acoplamiento 121 como se muestra en líneas de trazos. Cuando se incluye uno o más elementos de acoplamiento 121 puede transferirse menos del polvo hinchable en agua 104 a una superficie interna de la cavidad 126 puesto que los  
20 elementos de acoplamiento 121 pueden inhibir la transferencia (es decir, están entre una porción de las bandas de fibra óptica y las paredes de la cavidad). Más específicamente, el cable de fibra óptica 120 tiene dos elementos de acoplamiento (representados por los rectángulos sombreados) formados a partir de una banda de espuma longitudinal, u otro elemento de acoplamiento adecuado dispuesto en lados opuestos de la pila de cinta de modo que los elementos de acoplamiento 121 intercalan las bandas de fibra óptica 122 entre ellas. Más abajo se  
25 encuentra el ejemplo representativo para determinar la concentración media de polvo hinchable en agua usando el área en sección transversal de la cavidad efectiva para una cavidad más grande que tiene bandas de fibra óptica y elementos de acoplamiento en la misma. En este caso, la cavidad 126 está dimensionada para recibir veinticuatro bandas de fibra óptica (es decir, componentes de fibra óptica) y tiene una anchura de cavidad de aproximadamente  
30 8,2 milímetros y una altura de cavidad de 5,2 milímetros, que se multiplican juntas para calcular un área en sección transversal de la cavidad de aproximadamente 43 milímetros cuadrados. La pila de bandas de fibra óptica tiene también un área en sección transversal total de aproximadamente 7,4 milímetros cuadrados y la suma de los elementos de acoplamiento tiene un área en sección transversal de aproximadamente 27,2 milímetros cuadrados. Por lo tanto, la sección transversal efectiva para este ejemplo se calcula restando el área en sección transversal de las bandas de fibra óptica y los elementos de acoplamiento del área en sección transversal de la cavidad (es decir,  
35  $43 \text{ mm}^2 - 7,4 \text{ mm}^2 - 27,2 \text{ mm}^2$ ), que produce un área en sección transversal de la cavidad efectiva de aproximadamente 8 milímetros cuadrados. Por lo tanto, una concentración media para la cantidad de polvo hinchable en agua para este diseño se calcula tomando las veces de concentración normalizada deseada de la sección transversal de la cavidad eficaz (es decir, 0,01 gramos por metro de longitud por milímetro cuadrado 8  
40 milímetros cuadrados), que produce una concentración media de aproximadamente 0,08 gramos por metro de longitud para la cavidad del ejemplo que aloja 96 fibras ópticas en una pila de cinta. Aunque, la concentración media de polvo hinchable en agua es mayor, aún es una cantidad traza para bloquear agua de un área en sección transversal de la cavidad efectiva más grande, que es difícilmente perceptible por el trabajo manual y aún bloquea de manera eficaz la migración de agua a lo largo de la cavidad del cable de fibra óptica. Por supuesto, son posibles otros ejemplos de acuerdo con estos conceptos de la invención.

Adicionalmente, los elementos de acoplamiento 121 proporcionan las fibras ópticas para este diseño con una fuerza de acoplamiento de al menos aproximadamente 0,1625 Newtons por fibra óptica para una longitud de treinta metros de cable de fibra óptica proporcionado uno o más elementos de acoplamiento 121. De manera ilustrativa, un cable de fibra óptica que tiene una única cinta con doce fibras ópticas en la cinta debería tener una fuerza de acoplamiento de 1,95 Newtons o mayor para una longitud de treinta metros de cable de fibra óptica. Análogamente, un cable de  
50 fibra óptica similar que tiene una única cinta de fibra óptica con cuatro fibras ópticas debería tener una fuerza de acoplamiento de 0,650 Newtons o mayor para una longitud de treinta metros de cable de fibra óptica. La medición de la fuerza de acoplamiento se consigue tomando una muestra de cable de fibra óptica de treinta metros y tirando de un primer extremo de las fibras ópticas (o cinta o cintas de fibra óptica) y midiendo la fuerza requerida para provocar el movimiento del segundo extremo de la fibra o fibras ópticas (o cinta o cintas de fibra óptica). En otras palabras, la  
55 longitud de exceso de fibra (EFL), o longitud de exceso de banda (ERL), debe enderezarse de modo que la fuerza de acoplamiento sea la cantidad de fuerza requerida para mover la longitud entera de fibras ópticas dentro de la muestra de cable de fibra óptica de treinta metros. Además de proporcionar acoplamiento, los elementos de acoplamiento 121 pueden también almohadillar la pila de cinta, mientras que aún permiten el movimiento de las bandas de fibra óptica.

Las bandas de fibra óptica 122 de este diseño tienen en general más ERL que los diseños de tubo puesto que la pila de cinta no está trenzada. A modo de ejemplo, las bandas de fibra óptica 122 tienen una ERL en el intervalo de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 1,2 % o más y la cantidad de ERL puede depender del número de

- bandas de fibra óptica dentro de la pila y los miembros de resistencia estarían estirados elásticamente en un intervalo similar a la ERL deseada. Además, el cable de fibra óptica 120 puede usar un proceso de fabricación similar al descrito con respecto al cable de fibra óptica 90 para estirar elásticamente uno o más miembros de resistencia 127, creando de esta manera la ERL. Específicamente, un primer miembro de resistencia 127 y un
- 5 segundo miembro de resistencia 127 que están dispuestos en lados opuestos de la cavidad 126 se estiran elásticamente por una cantidad predeterminada durante la extrusión de la cubierta de cable 128. Adicionalmente, el cable de fibra óptica 120 puede ser una porción de una distribución del conjunto de fibra óptica que tiene una o más fibras ópticas divididas para distribución. Las fibras ópticas divididas para distribución pueden empalmarse con una fijación, fijarse a una férula/conector o simplemente dejarse empalmadas listas para el trabajo manual.
- 10 Muchas modificaciones y otras realizaciones de la presente invención, dentro el alcance de las reivindicaciones serán evidentes para los expertos en la materia. Por ejemplo, los conceptos de la presente invención pueden usarse con cualquier diseño y/o método de fabricación de cable de fibra óptica adecuado. Por ejemplo, las realizaciones mostradas pueden incluir otros componentes de cable adecuados tales como una capa de blindaje, elementos de acoplamiento, diferentes formas de sección transversal o similares. Por lo tanto, se pretende que esta invención
- 15 cubra estas modificaciones y realizaciones como son evidentes para los expertos en la materia.

## REIVINDICACIONES

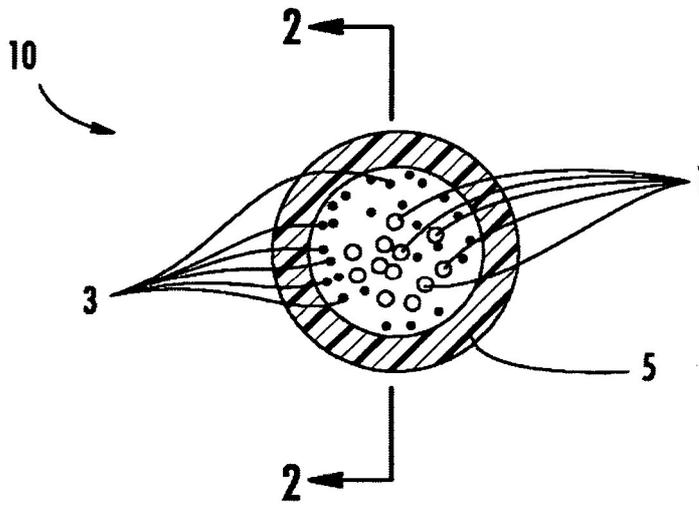
1. Un conjunto de fibra óptica que comprende:
- al menos una fibra óptica (102);  
 un tubo (106), estando dispuesta la al menos una fibra óptica dentro del tubo, en el que el tubo tiene una cavidad que incluye un área en sección transversal de la cavidad, y midiéndose el área en sección transversal de la cavidad en milímetros cuadrados, y un diámetro interno de aproximadamente 2,0 milímetros o menor; y  
 un polvo hinchable en agua (104) dispuesto dentro del tubo para bloquear la migración de agua dentro de una longitud del tubo, en el que el polvo hinchable en agua (104) tiene una distribución de tamaño de partícula teniendo las partículas hinchables en agua un tamaño de partícula medio de aproximadamente 100 micrómetros o menor, y en el que el polvo hinchable en agua está depositado de manera uniforme en un anillo en una pared de tubo interna del tubo y tiene una concentración normalizada de aproximadamente 0,01 gramos o menor por metro del tubo por milímetro cuadrado del área en sección transversal de la cavidad para calcular una concentración media en gramos por metro para el polvo hinchable en agua, en el que el tubo puede bloquear una presión de un metro de agua corriente en una longitud de un metro durante veinticuatro horas.
2. Un conjunto de fibra óptica de la reivindicación 1, en el que el polvo hinchable en agua (104) tiene una concentración media de aproximadamente 0,02 gramos o menor por metro del tubo.
3. El conjunto de fibra óptica de la reivindicación 1 o 2, en el que el área en sección transversal de la cavidad usada para calcular la concentración media es un área en sección transversal de la cavidad efectiva, y el área en sección transversal de la cavidad efectiva se obtiene usando el área en sección transversal de la cavidad menos una suma de un área en sección transversal para la al menos una fibra óptica, el área en sección transversal para cualesquiera otros componentes de fibra óptica dispuesta con el tubo, y el área en sección transversal para cualesquiera otros componentes dispuestos dentro de la cavidad.
4. El conjunto de fibra óptica de las reivindicaciones 1-3, teniendo el polvo hinchable en agua (104) una distribución de tamaño de partícula con la mayoría de las partículas hinchables en agua que tienen un tamaño de partícula medio de aproximadamente 60 micrómetros o menor.
5. El conjunto de fibra óptica de las reivindicaciones 1-4, en el que algo del polvo hinchable en agua (104) está fijado al menos parcialmente a una pared interna del tubo (106) mediante una carga electroestática o transferido mecánicamente a la misma.
6. El cable de fibra óptica de las reivindicaciones 1-5, formando el conjunto de fibra óptica una porción de un cable de fibra óptica (60, 70, 80, 90, 110, 120) que tiene una cubierta de cable (68) dispuesta alrededor del tubo.
7. El conjunto de fibra óptica de las reivindicaciones 1-5, siendo el conjunto de fibra óptica un cable de fibra óptica (60, 70, 80, 90, 110, 120) que incluye adicionalmente un componente seleccionado del grupo que consiste en una capa de blindaje (77), una cuerda de desgarre, un miembro de resistencia (97, 107, 127), un componente hinchable en agua, una cubierta de cable, un miembro central (71), un elemento de acoplamiento y un elemento rastreado (103).
8. El conjunto de fibra óptica de las reivindicaciones 1-5, siendo la al menos una fibra óptica una porción de una cinta de fibra óptica (122) y que incluye adicionalmente un primer elemento de acoplamiento y un segundo elemento de acoplamiento, en el que el primer elemento de acoplamiento y el segundo elemento de acoplamiento están dispuestos en lados opuestos de la cinta de fibra óptica.
9. El conjunto de fibra óptica de las reivindicaciones 1-8, en el que el conjunto de fibra óptica forma una porción de un cable de fibra óptica retardante de llama.
10. El conjunto de fibra óptica de las reivindicaciones 1-9, en el que el conjunto de fibra óptica no incluye otro componente para bloquear la migración de agua dentro del tubo.
11. Un método de fabricación de un conjunto de fibra óptica que comprende las etapas de:
- proporcionar al menos una fibra óptica (102);  
 aplicar un polvo hinchable en agua (104) a la al menos una fibra óptica; y  
 aplicar un tubo (106) alrededor de la al menos una fibra óptica y el polvo hinchable en agua, en el que el tubo tiene un diámetro interno de aproximadamente 2,0 milímetros o menor, en el que el polvo hinchable en agua (104) tiene una distribución de tamaño de partícula teniendo las partículas hinchables en agua un tamaño de partícula medio de aproximadamente 100 micrómetros o menor y en el que el polvo hinchable en agua tiene una concentración media de aproximadamente 0,02 gramos o menor por metro dentro de la cavidad del tubo, y

transferir de manera uniforme un anillo de polvo hinchable en agua (104) en una pared del tubo fundido del tubo para una concentración normalizada de 0,01 gramos o menor por milímetro cuadrado de área en sección transversal de la cavidad por metro del tubo.

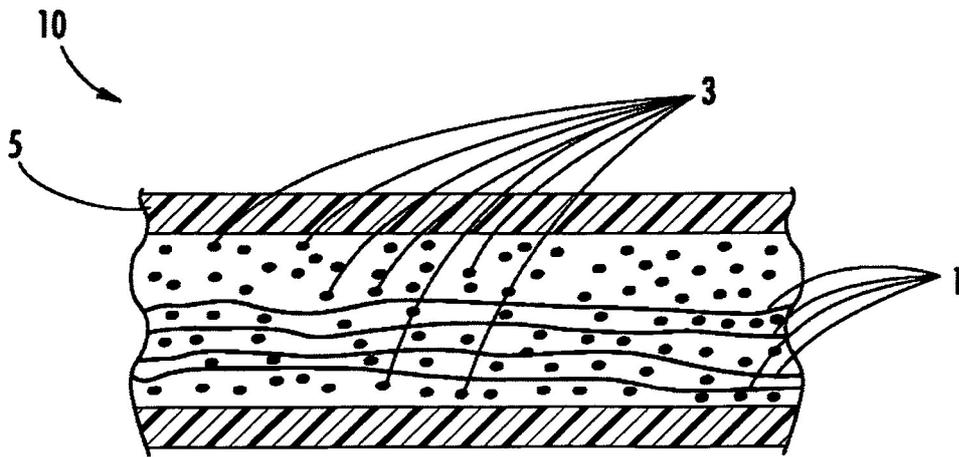
5 12. El método de la reivindicación 11, en el que la al menos una fibra óptica (102) pasa mediante un ionizador para reducir la carga positiva global en la al menos una fibra óptica.

10 13. El método de las reivindicaciones 11-12, que incluye adicionalmente la etapa de proporcionar un primer miembro de resistencia y un segundo miembro de resistencia (97, 107, 127) y trenzar elásticamente tanto el primer miembro de resistencia como el segundo miembro de resistencia mientras se aplica el tubo para crear un nivel predeterminado de longitud de exceso de fibra, en el que el tubo está fijado tanto al primer miembro de resistencia como al segundo miembro de resistencia.

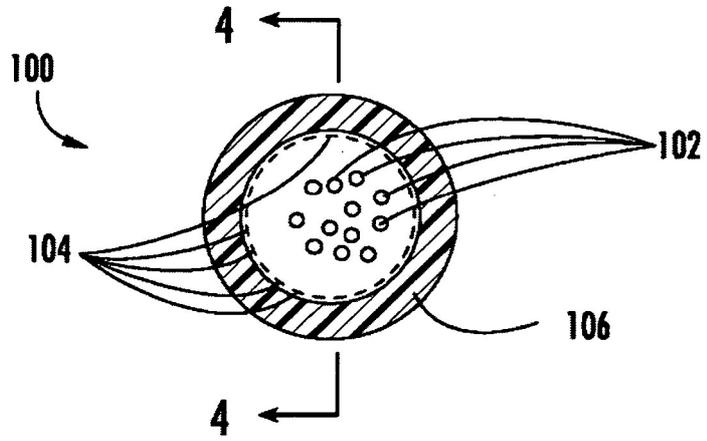
14. El método de las reivindicaciones 11-13, en el que el conjunto de fibra óptica forma una porción de un cable de fibra óptica (60, 70, 80, 90, 110, 120).



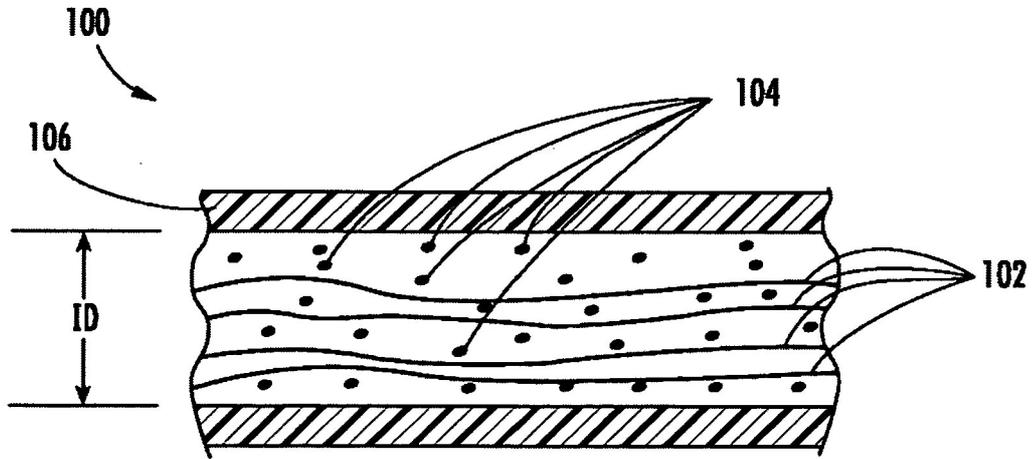
**FIG. 1**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 2**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 3**



**FIG. 4**

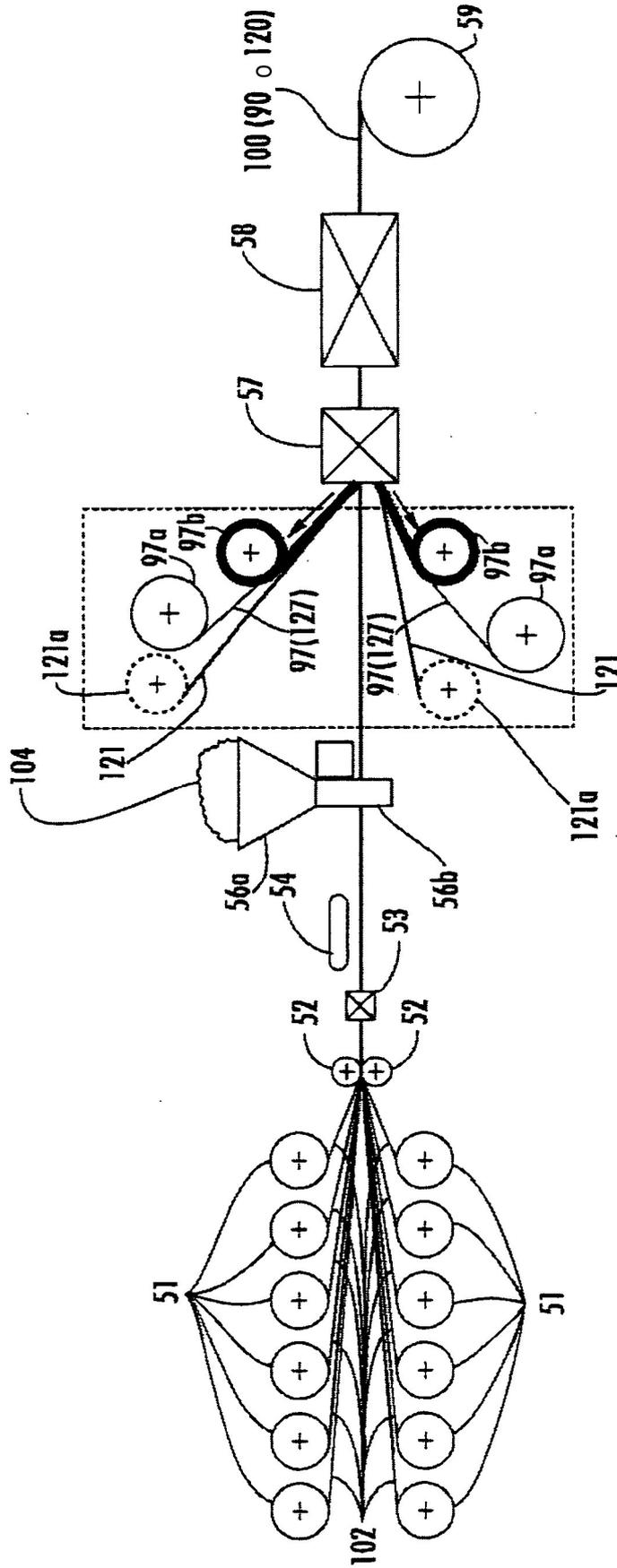
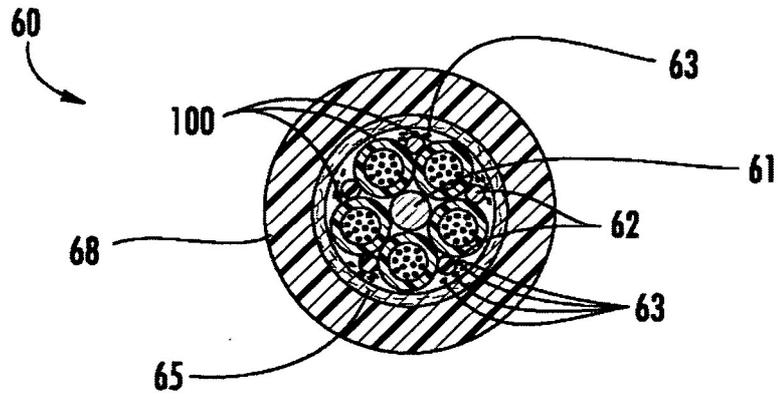
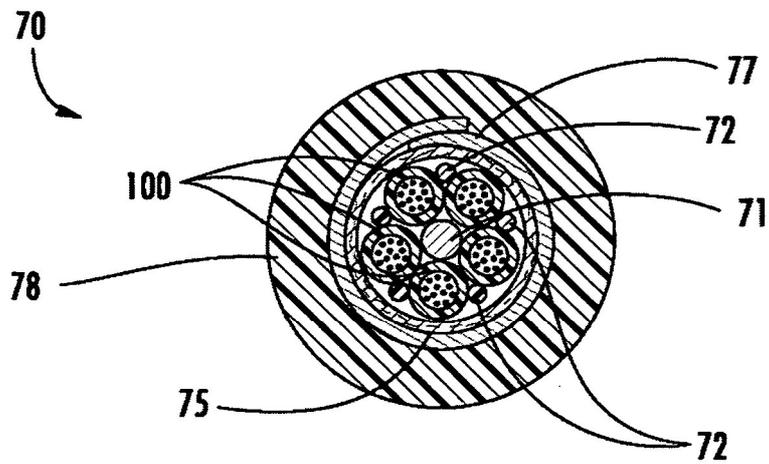


FIG. 5



**FIG. 6**



**FIG. 7**

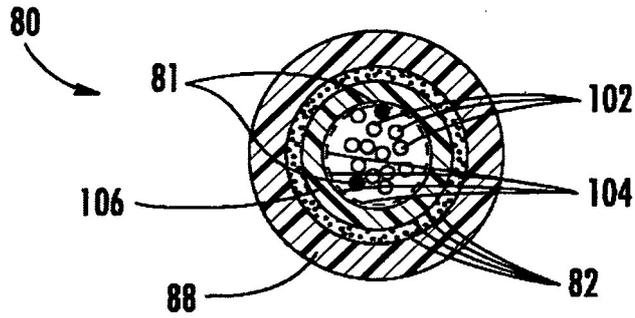


FIG. 8

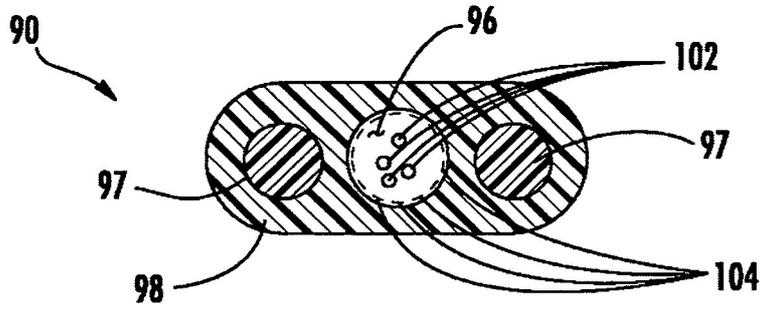


FIG. 9

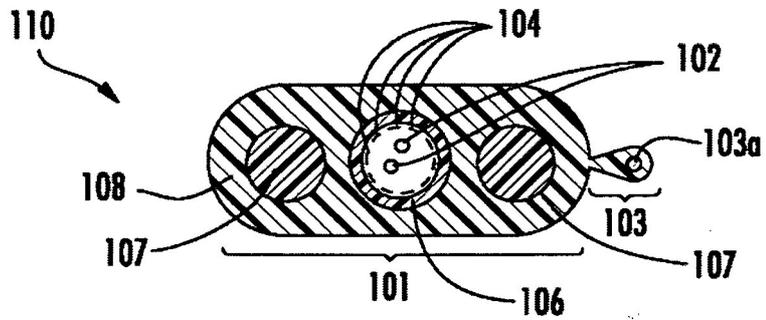


FIG. 10

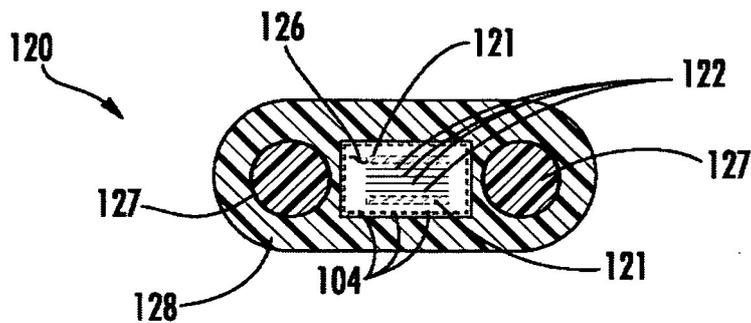


FIG. 11