

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 614 633**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/44**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.08.2006 PCT/US2006/031902**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.08.2007 WO07092046**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.08.2006 E 06789785 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.11.2016 EP 1982223**

54 Título: **Cable de fibra óptica que tiene un inserto seco y métodos para fabricar el mismo**

30 Prioridad:

**10.02.2006 US 351456**

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

**01.06.2017**

73 Titular/es:

**CORNING OPTICAL COMMUNICATIONS LLC  
(100.0%)**

**Intellectual Property Department, SP-TI-3-1  
Corning, NY 14831, US**

72 Inventor/es:

**GREENWOOD, JODY, L.;  
TEMPLE, KENNETH, D., JR.;  
LAIL, KEITH, H.;  
SEDDON, DAVID, A. y  
TUTTLE, RANDALL**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 614 633 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Cable de fibra óptica que tiene un inserto seco y métodos para fabricar el mismo

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere en general al empaquetado en seco de guías de onda ópticas. Más específicamente, la invención se refiere a conjuntos ópticos para sistemas de comunicación que incluyen al menos un inserto seco para proteger al menos una guía de onda óptica.

Antecedentes de la invención

- 10 Los cables de fibra óptica incluyen guías de onda ópticas tales como fibras ópticas que transmiten señales ópticas, por ejemplo, información de voz, vídeo y/o datos. Un tipo de configuración de cable de fibra óptica incluye una guía de onda óptica dispuesta dentro de un tubo, formando así un ensamble de tubo. En términos generales, el tubo protege la guía de onda óptica; sin embargo, la guía de ondas óptica debe protegerse adicionalmente dentro del tubo. Por ejemplo, la guía de ondas óptica debería tener cierto movimiento relativo entre la guía de onda óptica y el tubo para acomodarse a la flexión. Por otra parte, la guía de onda óptica debería acoplarse adecuadamente con el tubo, impidiendo así que la guía de onda óptica se desplace dentro del tubo cuando, por ejemplo, se aplican fuerzas de tracción para instalar el cable. Adicionalmente, el ensamble de tubo debe inhibir la migración de agua en el mismo. Además, el ensamble de tubo debe ser capaz de operar sobre una gama de temperaturas sin una degradación indebida del rendimiento óptico.

- 20 Los ensamblajes de tubos ópticos convencionales cumplen estos requisitos llenando el tubo con un material tixotrópico tal como grasa. Los materiales tixotrópicos generalmente permiten un movimiento adecuado entre la guía de onda óptica y el tubo, amortiguación y acoplamiento de la guía de onda óptica. Además, los materiales tixotrópicos son eficaces para bloquear la migración de agua dentro del tubo. Sin embargo, el material tixotrópico debe limpiarse de la guía de onda óptica antes de la conectorización del mismo. La limpieza del material tixotrópico de la guía de onda óptica es un proceso engorroso y que consume mucho tiempo. Además, la viscosidad de los materiales tixotrópicos depende generalmente de la temperatura. Debido al cambio de viscosidad, los materiales tixotrópicos pueden gotear desde un extremo del tubo a temperaturas relativamente altas y los materiales tixotrópicos pueden causar atenuación óptica a temperaturas relativamente bajas.

- 30 Los diseños de cables han intentado eliminar los materiales tixotrópicos del tubo, pero los diseños son generalmente inadecuados porque no cumplen todos los requisitos y/o son costosos de fabricar. Un ejemplo que elimina el material tixotrópico del tubo es la Patente de los Estados Unidos No. 4,909,592, que describe un tubo que tiene cintas y/o hilos hinchables en agua convencionales dispuestos en el mismo. Por ejemplo, las cintas hinchables en agua convencionales se forman típicamente a partir de dos capas no tejidas finas que contienen en sándwich un polvo hinchable en agua entre ellas, formando de este modo una cinta relativamente fina que no llena el espacio dentro de un tubo amortiguador. Por consiguiente, las cintas convencionales hinchables con agua no proporcionan un acoplamiento adecuado para las guías de onda ópticas debido al espacio no llenado. Adicionalmente, el espacio permite que el agua dentro del tubo emigre a lo largo del tubo, en lugar de ser contenida por la cinta hinchable en agua convencional. Por lo tanto, este diseño requiere un gran número de componentes hinchables en agua dentro del tubo para acoplar adecuadamente las fibras ópticas con el tubo. Además, el uso de un gran número de componentes hinchables en agua dentro de un tubo amortiguador no es económico porque aumenta la complejidad de fabricación junto con el coste del cable.

- 40 Otro ejemplo que elimina el material tixotrópico de un cable de fibra óptica es la Patente de los Estados Unidos No. 6,278,826, que describe una espuma que tiene un contenido de humedad mayor que cero que se carga con polímeros superabsorbentes. El contenido de humedad de la espuma se describe como una mejora de las características retardantes de llama de la espuma. Asimismo, la espuma de este diseño es relativamente cara y aumenta el coste del cable.

- 45 Breve descripción de las figuras.

La Figura 1 es una vista en sección transversal de un ensamble de tubo según la presente invención.

La Figura 1a es una vista en sección transversal de otro ensamble de tubos según la presente invención.

La Figura 2 es una vista en sección transversal del inserto seco del ensamble de tubo de la Figura 1.

La Figura 2a es un gráfico que representa las curvas de compresión para tres inserciones secas diferentes.

- 50 Las figuras 2b-2d representan diversas configuraciones de una aplicación de adhesivo/pegamento al inserto seco de

la Figura 2.

La Figura 3 es un gráfico de barras que representa una fuerza de arrastre de la cinta óptica para diversas configuraciones de tubo.

La Figura 4 es una representación esquemática de una línea de fabricación de acuerdo con la presente invención.

- 5 La Figura 5 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 6 es un gráfico que representa una fuerza de acoplamiento de cinta óptica asociada con diversas configuraciones de cable.

La Figura 8 es una vista en sección transversal de otro inserto seco según los conceptos de la presente invención.

- 10 La Figura 9 es una vista en perspectiva de otro inserto seco según los conceptos de la presente invención.

La Figura 10 es una vista en perspectiva de otro inserto seco según los conceptos de la presente invención.

La Figura 11 es una vista en sección transversal de un cable que tiene un ensamble de tubo convencional lleno de grasa.

La Figura 12 es una vista en sección transversal de un cable que tiene un ensamble de tubo seco convencional.

- 15 La Figura 13 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica con una capa de blindaje de acuerdo con la presente invención.

La Figura 14 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica sin tubo de acuerdo con la presente invención.

- 20 La Figura 15 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica que tiene tubos trenzados de acuerdo con la presente invención.

Las figuras 16 y 17 son vistas en sección transversal de un cable de fibra óptica sin tubo de acuerdo con la presente invención.

Las figuras 18 y 18a son vistas en sección transversal de otros cables de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

- 25 La Figura 18b es una representación esquemática de la cavidad del cable de fibra óptica representado en la Figura 18.

Las figuras 19 y 19a son representaciones esquemáticas que representan respectivamente cables con cero exceso de longitud de cinta (ERL) y ERL positivo.

- 30 Las figuras 19b y 19c son representaciones esquemáticas de los cables de las figuras 19 y 19a durante el plegamiento del mismo.

La Figura 20 es una vista en sección transversal de un cable de fibra óptica que tiene una pluralidad de insertos secos de acuerdo con la presente invención.

Las figuras 21-25 son vistas en sección transversal de otros cables de fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

- 35 La Figura 26 es una representación esquemática de una línea de fabricación para hacer el cable de la Figura 18 de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de la invención

- 40 La presente invención se describirá ahora más completamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos que muestran realizaciones preferidas de la invención. Sin embargo, la invención se puede incorporar en muchas formas diferentes y no debe ser interpretada como limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento;

más bien, estas realizaciones se proporcionan de manera que la descripción transmitirá completamente el alcance de la invención a los expertos en la técnica. Los dibujos no están dibujados necesariamente a escala sino que están configurados para ilustrar claramente la invención.

Se ilustra en la Figura 1 un ejemplo de ensamble 10 de tubo de acuerdo con un aspecto de la presente invención. El ensamble 10 de tubo incluye al menos una guía 12 de ondas óptica tal como una fibra óptica, al menos un inserto 14 seco y un tubo 18. En este caso, la al menos una guía 12 de onda óptica está en forma de un apilamiento 13 de cintas que tienen una dimensión diagonal D a través de las esquinas del apilamiento. El inserto 14 seco rodea generalmente al menos una guía 12 de ondas óptica y forma el núcleo 15, que está dispuesto dentro del tubo 18. El inserto 14 seco realiza funciones tales como amortiguación, acoplamiento, inhibición de la migración de agua, y se acomoda a la flexión. El inserto 14 seco es ventajoso porque las guías de onda ópticas se retiran fácilmente del mismo sin dejar un residuo o película que requiera limpieza antes de la conectorización. Además, a diferencia de los materiales tixotrópicos convencionales, el inserto 14 seco no cambia la viscosidad con variaciones de temperatura ni tiene una propensión a gotear desde un extremo del tubo a altas temperaturas. Además, el ensamble 10 de tubo puede incluir otros componentes tales como un hilo 17 aglutinante de poliéster para mantener el inserto 14 seco alrededor de la guía 12 de onda óptica. Igualmente, se pueden coser dos o más hilos entre sí para retener el inserto 14 seco junto antes de extrudir el tubo 18 a su alrededor. La Figura 1a muestra el ensamble 10' de tubo, que es una variación del ensamble 10 de tubo. Específicamente, el ensamble 10' de tubo incluye una pluralidad de guías 12 de onda ópticas sueltas, en lugar del apilamiento 13 de cintas. En este caso, el ensamble 10' de tubo incluye veinticuatro guías 12 de onda ópticas sueltas que tienen una dimensión diagonal D, pero se puede usar cualquier número adecuado de guías de onda ópticas. Además, las guías 12 de onda ópticas pueden agruparse en uno o más grupos usando aglutinantes, hilos hinchables en agua, cintas, envolturas u otros materiales adecuados. Adicionalmente, los ensambles 10 o 10' de tubo pueden ser una porción de cable como se muestra en la Figura 5. Además, los insertos 14 secos de acuerdo con la presente invención se pueden usar con diseños de cables sin tubo.

Tal como se ha representado, la guía 12 de onda óptica es una fibra óptica que forma una parte de una cinta de fibra óptica. En este caso, las guías de onda ópticas son una pluralidad de fibras ópticas de modo individual en un formato de cinta que forman el apilamiento 13 de cintas. El apilamiento 13 de cintas puede incluir hilos helicoidales o hebras S-Z. Adicionalmente, pueden usarse otros tipos o configuraciones de guías de onda ópticas. Por ejemplo, la guía 12 de onda óptica puede ser fibra de mantenimiento de modos múltiples, de modo puro, dopada con erbio, de polarización, otros tipos adecuados de guías de onda ópticas y/o combinaciones de los mismos. Además, la guía 12 de onda óptica puede estar suelta o en paquetes. Cada guía 12 de onda óptica puede incluir un núcleo basado en sílice que es operativo para transmitir señales ópticas y está rodeado por un revestimiento basado en sílice que tiene un índice de refracción menor que el núcleo. Adicionalmente, pueden aplicarse uno o más revestimientos a la guía 12 de onda óptica. Por ejemplo, un revestimiento primario suave rodea el revestimiento, y un revestimiento secundario relativamente rígido rodea el revestimiento primario. En una realización, una o más guías 12 de onda ópticas incluyen un sistema de revestimiento como se describe en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos Serie 10/632.219 presentada el 18 de julio de 2003. La guía 12 de ondas óptica también puede incluir un medio de identificación tal como tinta u otros signos adecuados para la identificación. Por supuesto, la guía de onda óptica también puede incluir una capa amortiguadora apretada. Fibras ópticas adecuadas están comercialmente disponibles en Corning Incorporated de Corning, New York.

En otras realizaciones, el apilamiento 13 de cintas puede tener unas guías 12a de ondas ópticas de esquina con un número MAC predeterminado, inhibiendo de este modo la atenuación óptica de la guía de ondas óptica de esquina cuando se somete a fuerzas de compresión. Dicho de otra manera, la selección de guías de onda ópticas de esquina con un número MAC predeterminado coloca guías de onda ópticas que son menos sensibles a la atenuación óptica de fuerzas de compresión en ubicaciones de apilamiento de cintas que experimentan niveles relativamente altos de compresión. En otras realizaciones, todas las guías 12 de onda ópticas de las cintas pueden tener un número MAC predeterminado. Tal como se usa en la presente memoria, el número MAC se calcula como un diámetro de campo de modo (MFD) dividido por una longitud de onda de corte para la guía 12a de ondas óptica dada, donde ambas cantidades se expresan en micrómetros, de manera que el número MAC es adimensional. En otras palabras, MFD se expresa típicamente en micrómetros y la longitud de onda de corte se expresa típicamente en nanómetros, por lo que la longitud de onda de corte debe dividirse por 1000 para convertir los en micrómetros, produciendo de este modo un número MAC adimensional.

A modo de ejemplo, el número de MAC es de aproximadamente 7,35 o menos, más preferiblemente de aproximadamente 7,00 o menos, y lo más preferiblemente de aproximadamente 6,85 o menos; sin embargo, hay un límite inferior en el número MAC. A modo de ejemplo, las guías de ondas ópticas de esquina 12a se selecciona con un MFD de 9,11  $\mu\text{m}$  o menos y una longitud de onda de corte de 1240 nm o más, dando por tanto 7,35 o menos para el número de MAC. En términos generales, el número MAC es directamente proporcional a MFD e inversamente proporcional a la longitud de onda de corte. El apilamiento 13 de cintas tiene cuatro guías 12a de onda ópticas de esquina; sin embargo, otras configuraciones del apilamiento de cintas pueden incluir más posiciones de esquina. Por ejemplo, un apilamiento de cintas que tiene generalmente una forma de signo más incluye ocho esquinas exteriores. Del mismo modo, otras configuraciones del apilamiento de cintas pueden tener otros números de posiciones de esquina.

Además, las realizaciones de cinta de la presente invención pueden tener un exceso de longitud de cinta positiva (ERL), aunque puede ser posible un ERL negativo con algunos diseños de cables, pero en general el rendimiento puede verse afectado. Tal como se usa en la presente memoria, ERL se define como la longitud de la cinta particular menos la longitud del tubo o cable que contiene la cinta dividida por la longitud del tubo o cable que contiene la cinta, que puede expresarse en porcentaje multiplicando por 100. Si el ERL se calcula usando la longitud del tubo o la longitud del cable depende de la configuración particular. Además, las cintas individuales de un cable pueden tener valores diferentes de ERL. A modo de ejemplo, las cintas del cable 50 tienen un ERL positivo, tal como un ERL positivo en el intervalo de aproximadamente 0,0% a aproximadamente 0,4% o mayor, pero pueden ser posibles otros valores adecuados. Del mismo modo, las realizaciones que tienen fibras ópticas sueltas o empaquetadas pueden incluir una longitud de fibra excesiva positiva (EFL) dentro de un intervalo adecuado para la configuración del cable.

La Figura 2 ilustra una vista en sección transversal de un inserto 14 seco explanado. El inserto 14 seco está formado a partir de un material o materiales alargados que pueden ser dispuestos desde un carrete para una aplicación continua durante la fabricación. El inserto 14 seco puede formarse a partir de una pluralidad de capas que pueden realizar diferentes funciones; sin embargo, el inserto seco puede ser una sola capa tal como un material de fieltro que es compresible y puede incluir opcionalmente una característica de bloqueo de agua/hinchable en agua. El inserto 14 seco amortigua la guía 12 de onda óptica del tubo 18, manteniendo de ese modo la atenuación óptica de la guía 12 de onda óptica por debajo de aproximadamente 0,4 dB/km a una longitud de onda de referencia de 1310 nm y 0,3 dB/km a una longitud de onda de referencia de 1550 nm y 1625 nm. Sin embargo, son posibles otros valores de atenuación ópticos adecuados, tales como 0,35/0,25 para las respectivas longitudes de onda de referencia 1310 y 1550. En una realización, el inserto 14 seco se forma a partir de dos capas distintas. Por ejemplo, la Figura 2 muestra una primera capa 14a de inserto 14 seco que es una capa compresible y segunda capa 14b que es una capa hinchable en agua. En este caso, la primera capa 14a está formada a partir de un material compresible que tiene una constante de muelle predeterminada para proporcionar características de acoplamiento adecuadas. A modo de ejemplo, la primera capa es una cinta de espuma tal como una cinta de espuma de celda abierta; sin embargo, se puede usar cualquier material compresible adecuado tal como una cinta de espuma de celda cerrada. Como se muestra en la Figura 2, la segunda capa 14b puede tener cualquier construcción adecuada y en realizaciones preferidas es una cinta hinchable en agua adecuada que tiene uno o más componentes. Por ejemplo, las cintas hinchables en agua pueden tener diferentes construcciones como se muestra por las dos burbujas de detalle diferentes de la Figura 2, pero generalmente incluyen al menos una cinta tal como una cinta 14f no tejida que tiene una pluralidad de partículas 14e hinchables en agua. Sin embargo, el inserto 14 seco puede incluir otros tipos de partículas formadas a partir de uno o más materiales.

La primera capa 14a y la segunda capa 14b están preferiblemente unidas conjuntamente con un adhesivo 14d de manera que se requiere una fuerza de aproximadamente 5 Newtons (N) o más para separar las capas. El adhesivo 14d se puede pulverizar sobre una o ambas capas durante la fabricación, creando de este modo una niebla fina que inhibe la formación de grumos de adhesivo; sin embargo, también son posibles otros métodos de aplicación adecuados. Sin embargo, el adhesivo puede tener otras formas tales como un polvo que se aplica a una o más capas. Cualquiera que sea la forma de adhesivo utilizada, no debe causar niveles elevados de atenuación cuando el inserto seco se coloca alrededor de la guía de ondas óptica. Del mismo modo, las partículas hinchables en agua o partículas de conglomerado tales como partículas adhesivas y/o hinchables en agua no deben causar microflexión. En otras palabras, el tamaño medio de partícula del adhesivo 14d, u otros materiales conglomerados tales como el adhesivo y el polvo hinchable en agua, debería ser relativamente pequeño tal como 600 micrómetros o menos, preferiblemente aproximadamente 450 micrómetros o menos, y lo más preferiblemente aproximadamente 300 micrómetros o menos de modo que si las partículas presionan contra la guía de onda óptica a través de una porción de inserto 14 seco no provocarán niveles elevados de microflexión. Tal como se utiliza en la presente memoria, el tamaño medio de partícula se refiere a partículas de uno o más materiales utilizados en el inserto 14 seco.

Como se muestra en la burbuja de detalle derecha de la Figura 2, la segunda capa 14b es una cinta hinchable en agua que tiene partículas 14e hinchables en agua dispuestas entre dos materiales 14f de tipo cinta no tejidos que están unidos por el adhesivo 14d a la primera capa 14a. Esta construcción impide que las partículas causen microcortes ya que hay una cinta no tejida que actúa como un amortiguador entre la primera capa 14a y las partículas 14e hinchables en agua. El tamaño medio de partícula del polvo hinchable en agua debe ser relativamente pequeño, tal como 600 micrómetros o menos, preferiblemente aproximadamente 450 micrómetros o menos, y lo más preferiblemente aproximadamente 300 micrómetros o menos, de manera que si las partículas hinchables en agua presionan contra la guía de onda óptica a través de una parte del inserto 14 seco, no provocarán niveles elevados de microflexión. La segunda capa 14b puede tener otras construcciones, tal como se muestra en la burbuja de detalle izquierda de la Figura 2. Específicamente, esta realización muestra las partículas 14e hinchables en agua unidas a un lado de una única cinta 14f no tejida, que a continuación se une a la primera capa compresible 14a de manera que las partículas 14e hinchables en agua se disponen entre las capas primera y segunda sin una capa tampón. En esta construcción, el adhesivo 14f funciona para unir las partículas 14e hinchables en agua y para unir las primera y segunda capas 14a, 14b del inserto 14 seco juntas. Sin embargo, esta construcción del inserto 14 seco conduce generalmente a un tamaño de partícula medio más grande de un material conglomerado formado de partículas adhesivas e hinchables en agua. En otras palabras, siendo todo igual, el tamaño medio de partícula en

esta construcción de inserto seco es generalmente mayor porque crea una partícula conglomerada comparada con la partícula hinchable en agua sola. En consecuencia, esto puede provocar microflexión elevada si el tamaño medio de partícula se vuelve demasiado grande. Por lo tanto, en esta construcción, el tamaño medio de partícula del conglomerado o partícula compuesta debe estar en el mismo intervalo que se ha indicado anteriormente para inhibir la microflexión.

Del mismo modo, la superficie interna del inserto 14 seco no debe causar niveles elevados de microflexión. Por lo tanto, en realizaciones preferidas, una superficie de la capa que puede entrar en contacto con las guías de onda ópticas debe tener una superficie relativamente lisa. Por ejemplo, si se usa espuma como primera capa 14a del inserto 14 seco, el tamaño medio de la celda de la espuma es de aproximadamente 1000 micrómetros o menos y puede ser de aproximadamente 700 micrómetros o menos, creando de este modo una superficie relativamente lisa. Adicionalmente, la espuma puede tener capas con celdas de diferentes tamaños tales como celdas más grandes alejadas de las guías de onda ópticas y celdas más pequeñas cerca de la superficie de la espuma que puede entrar en contacto con las guías de onda ópticas. Otras variaciones incluyen un tratamiento superficial para alisar la superficie de la capa de espuma. Los tratamientos superficiales incluyen calentamiento para suavizar la superficie o llenar las celdas con un material adecuado. Además, la primera capa 14a, tal como espuma, hace que las partículas hinchables en agua y/o adhesivo del inserto 14 seco provoquen microflexiones.

En una realización, la primera capa es una cinta de espuma de poliuretano (PU) de celda abierta. La cinta de espuma de PU puede ser una PU a base de éter o una PU a base de éster, pero pueden usarse otras capas compresibles de cinta de espuma adecuadas tales como una espuma de polietileno, una espuma de polipropileno o espuma de EVA. Sin embargo, las realizaciones preferidas usan una cinta de espuma basada en éter puesto que se comporta mejor que una espuma de PU a base de éster cuando está sujeta a humedad. En otras palabras, la espuma de PU a base de éster puede romperse con la humedad, mientras que la espuma de PU a base de éter es generalmente más robusta con respecto a la humedad. Adicionalmente, la capa de espuma tiene una densidad predeterminada generalmente en el intervalo de aproximadamente 1 lb/pie<sup>3</sup> a aproximadamente 3 lb/pie<sup>3</sup>, pero en las realizaciones preferidas la densidad es aproximadamente 2 lb/pie<sup>3</sup>. El inserto 14 seco también tiene una resistencia a la tracción final predeterminada para inhibir la rotura durante la fabricación. En general, con insertos secos que tienen tanto una capa compresible como una capa hinchable en agua, la mayoría de la resistencia a la tracción se proporciona por la capa o capas hinchables en agua. La resistencia a la tracción ulterior del inserto seco es preferiblemente de aproximadamente 20 Newtons por centímetro de ancho W de inserto 14 seco o mayor, más preferiblemente de aproximadamente 30 Newtons por centímetro de ancho W de inserto 14 seco o mayor.

El inserto 14 seco puede tener una velocidad de hinchamiento de agua de modo que la mayoría de la altura de hinchamiento de la sustancia hinchable en agua ocurre dentro de aproximadamente los 120 segundos o menos de estar expuesta al agua, más preferiblemente aproximadamente 90 segundos o menos. A modo de ejemplo, el inserto 14 seco puede tener una altura máxima de hinchamiento de aproximadamente 18 mm para agua destilada y aproximadamente 8 mm para una solución de agua iónica al 5%, es decir, agua salada en un estado de hinchamiento sin restricciones; Sin embargo, se pueden usar insertos secos con otras alturas de hinchamiento máximas adecuadas. Los ensambles de tubos se pueden construir con una relación de hinchamiento de agua de aproximadamente 3 o más, aproximadamente 5 o más, y hasta aproximadamente 7 o más. La relación de hinchamiento de agua se define como el área de estado de hinchamiento en sección transversal sin restricciones del inserto seco dividida por el espacio libre en el ensamble de tubo. Para los cables redondos, el espacio libre del ensamble de tubo se define como un área de un diámetro interior del tubo menos el área que ocupan las guías de onda ópticas. Por ejemplo, si el inserto seco tiene una zona de estado de hinchamiento de sección transversal sin restricciones de 50 mm<sup>2</sup> y el tubo tiene un espacio libre de 10 mm<sup>2</sup>, la proporción de hinchamiento de agua es de cinco.

El inserto 14 seco puede comprimirse durante el montaje de modo que proporcione una fuerza normal predeterminada que impida que la guía 12 de onda óptica se desplace fácilmente longitudinalmente a lo largo del tubo 18. Las inserciones secas 14 tienen preferiblemente una altura h no comprimida de aproximadamente 5 mm o menos para minimizar el tamaño del cable tal como el diámetro del tubo y/o el diámetro del cable de un cable redondo; sin embargo, puede utilizarse cualquier altura h apropiada para el inserto 14 seco. Además, la altura h del inserto 14 seco no necesita ser constante a través de la anchura, pero puede variar, conformándose de este modo a la forma en sección transversal de las guías de onda ópticas y proporcionando amortiguación mejorada para mejorar el rendimiento óptico (figura 10). La segunda capa 14b es una capa hinchable en agua tal como una cinta que inhibe la migración de agua dentro del tubo 18.

La compresión del inserto 14 seco es en realidad una compresión máxima localizada del inserto 14 seco. En el caso de la Figura 1, la compresión máxima localizada del inserto 14 seco se produce en las esquinas del apilamiento de cintas a través del diámetro. En otros diseños de cables, tal como se muestra en la Figura 18, la compresión máxima localizada del inserto seco se produce generalmente a la máxima amplitud del apilamiento de cintas ondulada como se discutirá. El cálculo del porcentaje de compresión del inserto 14 seco en la Figura 1 requiere conocer un diámetro interior del tubo 18, una dimensión D diagonal del apilamiento de la cinta y una altura h sin comprimir del inserto 14 seco. A modo de ejemplo, el diámetro interior del tubo 18 es de 7,1 mm, la diagonal D del apilamiento de la cinta 5,1

mm, y la altura  $h$  no comprimida del inserto 14 seco a través de un diámetro es de 3,0 mm (2 veces 1,5 mm). La adición de la diagonal  $D$  (5,1 mm) y la altura no comprimida  $h$  del inserto 14 seco a través del diámetro (3,0 mm) da una dimensión no comprimida de 8,1 mm. Cuando se coloca el apilamiento de cintas y el inserto 14 seco y en el tubo 18 con un diámetro interno de 7,1 mm, el inserto seco se comprime un total de 1 mm (8,1 mm-7.1 mm). De este modo, el inserto 14 seco se comprime aproximadamente treinta por ciento a través del diámetro del tubo 18.

La Figura 2a es un gráfico que representa las curvas 200, 202 y 204 de compresión de ejemplo para tres insertos 14 secos diferentes. Específicamente, las curvas 200 y 202 representan dos insertos secos diferentes que tienen cada uno una capa de espuma de PU a base de éter compresible y una capa de agua hinchable. Las curvas 200 y 202 representan respectivamente insertos secos con alturas respectivas  $h$  de aproximadamente 1,5 mm y aproximadamente 1,8 mm. Por otra parte, la curva 204 representa un inserto seco que tiene una capa de espuma de PU a base de éster de celda abierta compresible y una capa hinchable en agua con una altura de aproximadamente 1,8 mm. Las curvas de compresión se generaron colocando la muestra de inserto seco entre dos placas circulares que tenían un diámetro de aproximadamente 2,2 pulgadas mientras se mide la fuerza requerida para comprimir la muestra usando una máquina Instron.

Como se muestra, las curvas de compresión para los tres insertos 14 secos son generalmente no lineales en el intervalo de compresión. Pero en términos generales, las curvas 200, 202 y 204 de compresión tienen una compresión generalmente lineal hasta aproximadamente 0,70 mm. En una realización, el inserto 14 seco tiene compresión de aproximadamente 1,0 mm o menos con una fuerza de aproximadamente 10 Newtons. En general, la capa de espuma se comprime mientras que la capa hinchable en agua es relativamente no compresible.

En otras realizaciones, la primera capa 14a del inserto 14 seco está descomprimida en el ensamble 10 de tubo, pero empieza a comprimirse si se inicia el movimiento de la guía de onda óptica. Otras variaciones incluyen fijar o unir una parte del inserto 14 seco al tubo 18. Por ejemplo, adhesivos, pegamentos, elastómeros y/o polímeros 14c están dispuestos en una porción de la superficie del inserto 14 seco que contacta con el tubo 18 para fijar el inserto 14 seco al tubo 18. Por ejemplo, la capa 14c es una capa de polímero que se funde al menos parcialmente durante la extrusión del tubo 18, creando de este modo un enlace entre ellos. Adicionalmente, es posible envolver helicoidalmente el inserto 14 seco alrededor de la guía 12 de onda óptica, en lugar de que esté dispuesto longitudinalmente. En otras realizaciones adicionales, se pueden formar dos o más insertos secos alrededor de una o más guías 12 de onda ópticas tales como dos mitades colocadas dentro del tubo 18.

Otras realizaciones pueden incluir un pegamento/adhesivo fugitivo para acoplar el núcleo 15 de cable y/o el inserto 14 seco con el tubo 18. El pegamento/adhesivo o similar se aplica a la superficie radialmente hacia fuera del inserto 14 seco, por ejemplo, durante el proceso de manufactura. El pegamento/adhesivo fugitivo se aplica mientras está caliente o se funde a la superficie exterior del inserto 14 seco y después se enfría o se congela cuando el cable se apaga o se enfría. A modo de ejemplo, un pegamento fugitivo adecuado está disponible de National Starch and Chemical Company de Bridgewater, NJ bajo el nombre comercial LITE-LOK<sup>®</sup> 70-003A. El pegamento fugitivo u otro adhesivo/material adecuado puede aplicarse en perlas que tienen una configuración continua o intermitente como se muestra en las figuras 2b-2d. Por ejemplo, una o más perlas de adhesivo/pegamento pueden aplicarse longitudinalmente a lo largo del inserto seco, perlas espaciadas longitudinalmente, en un cordón en zigzag a lo largo del eje longitudinal del inserto seco, o en cualquier otra configuración adecuada.

En una aplicación, se aplica una pluralidad de perlas de cola/adhesivo fugaz o similar al inserto 14 seco. Por ejemplo, pueden disponerse tres perlas continuas o no continuas en ubicaciones de manera que cuando el inserto seco sea formado alrededor del apilamiento de cintas, las perlas están separadas unos 120 grados. De manera similar, se pueden disponer cuatro perlas en posiciones de modo que estén separadas aproximadamente 90 grados cuando el inserto seco se forma alrededor de las guías de onda ópticas. En realizaciones que tienen las perlas espaciadas a lo largo del eje longitudinal, las perlas pueden tener una separación longitudinal  $S$  de aproximadamente 20 mm y aproximadamente 800 mm o más; sin embargo, puede usarse otra separación adecuada. Adicionalmente, se pueden aplicar perlas intermitentemente para minimizar la cantidad de material requerido, reduciendo de este modo el gasto de fabricación mientras se sigue proporcionando suficiente acoplamiento/adherencia.

Puesto que los ensambles de tubo 10 no están llenos con un material tixotrópico, el tubo puede deformarse o colapsarse, formando de este modo un tubo de forma ovalada en lugar de un tubo redondo. La Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 10/448.509, presentada el 30 de mayo de 2003, describe ensambles de tubos secos en los que el tubo se forma a partir de un material polimérico bimodal que tiene una ovalidad media predeterminada. Tal como se usa en el presente documento, la ovalidad es la diferencia entre un diámetro mayor  $D1$  y un diámetro menor  $D2$  del tubo 18 dividido por diámetro mayor  $D1$  y multiplicado por un factor de cien, expresando así la ovalidad como un porcentaje. Los materiales poliméricos bimodales incluyen materiales que tienen al menos un primer material polimérico que tiene un peso molecular relativamente alto y un segundo material polimérico que tiene un peso molecular relativamente bajo que se fabrican en un proceso de doble reactor. Este proceso de doble reactor proporciona las propiedades de material deseadas y no debe confundirse con mezclas simples de polímeros postreactor que comprometen las propiedades de ambas resinas en la mezcla. En una realización, el tubo tiene una

ovalidad media de aproximadamente 10 por ciento o menos. A modo de ejemplo, el tubo 18 se forma a partir de un HDPE disponible de Dow Chemical Company de Midland, Michigan, bajo el nombre comercial DGDA-2490 NT.

La Figura 3 es un gráfico de barras que representa una fuerza de arrastre de cinta óptica normalizada (N/m) para diversas configuraciones de tubo y/o cable. La prueba de fuerza de arrastre de la cinta midió la fuerza requerida para iniciar el movimiento de un apilamiento de cintas a lo largo de toda su longitud desde un cable de 10 metros de longitud. Por supuesto, esta prueba de fuerza de arrastre es igualmente aplicable a guías de onda ópticas sueltas o empaquetadas. Específicamente, se extrajo el apilamiento de cintas del tubo y la fuerza requerida para iniciar el movimiento de toda la longitud de las cintas se dividió por la longitud del cable, normalizando por lo tanto la fuerza de arrastre de la cinta óptica. Como referencia para la comparación, la barra 30 representa una fuerza de arrastre de cinta de aproximadamente 4.8 N/m para un apilamiento de cintas de 120 fibras en un tubo convencional lleno de grasa (material tixotrópico) (figura 11). La barra 31 representa una fuerza de arrastre de la cinta para un diseño de tubo seco convencional que tiene únicamente una cinta hinchable en agua alrededor de un apilamiento 144 de cintas de fibras (similar a la Figura 12), que están dispuestas libremente en un tubo. Específicamente, la barra 31 representa una fuerza de arrastre de cinta de aproximadamente 0,6 N/m para el apilamiento 144 de cintas de fibras. Por lo tanto, el diseño de tubo seco convencional (figura 12) tiene una fuerza de arrastre de la cinta que es aproximadamente el doce por ciento de la fuerza de arrastre de la cinta del tubo convencional lleno de grasa (figura 11), que es inadecuada para un funcionamiento adecuado del cable.

Las barras 32, 34, 36 y 38 representan ensambles de tubos de acuerdo con la presente invención y la barra 39 representa el cable 180 delineado en la Figura 18. Específicamente, la barra 32 representa una fuerza de arrastre de cinta 144 de un apilamiento de fibras de un ensamble 10 de tubo que tiene un inserto 14 seco con una altura  $h$  no comprimida de aproximadamente 1,5 mm con aproximadamente una compresión de cero por ciento del inserto 14 seco. En esta realización, la barra 32 representa una fuerza de arrastre de la cinta de aproximadamente 1,0 N/m, lo cual es una mejora sorprendente con respecto al tubo seco convencional. Las barras 34 y 36 representan configuraciones en las que el inserto 14 seco se comprime dentro del ensamble 10 de tubo en un porcentaje desde su altura original hasta una altura comprimida media. Más específicamente, la barra 34 representa una fuerza de arrastre de cinta de un ensamble de tubo similar al de la barra 32, excepto que en esta realización el inserto 14 seco se comprime aproximadamente el treinta por ciento. En esta realización, la barra 34 representa una fuerza de arrastre de cinta de aproximadamente 2,7 N/m. La barra 36 representa una fuerza de arrastre de la cinta de un apilamiento 144 de cintas de fibras de un ensamble de tubo con un inserto 14 seco que tiene una altura  $h$  no comprimida de aproximadamente 3 mm, que se comprime aproximadamente un treinta por ciento dentro del tubo. En esta realización, la barra 36 representa una fuerza de arrastre de la cinta de aproximadamente 0,5 N/m. La barra 38 representa una fuerza de arrastre de cinta de un apilamiento 144 de fibras de un ensamble 10 de tubo que tiene un inserto 14 seco con una altura  $h$  no comprimida de aproximadamente 1,5 mm con aproximadamente un diecisiete por ciento de compresión del inserto 14 seco y perlas de cola. En este caso, cuatro perlas de cola se aplicaron continuamente longitudinalmente a lo largo del inserto seco de manera que estuvieran espaciadas a aproximadamente 90 grados. La fuerza de arrastre de la cinta para esta realización era de aproximadamente 4,0 N/m. Como se muestra, la aplicación de perlas de adhesivo/pegamento aumentó la fuerza de arrastre de la cinta con menos compresión del inserto seco. De este modo, de acuerdo con los conceptos de la presente invención, la compresión del inserto 14 seco puede estar en el intervalo de aproximadamente 10% a aproximadamente 90%; Sin embargo, otros rangos adecuados de compresión o incluso ninguna compresión pueden proporcionar el rendimiento deseado dependiendo de la configuración. No obstante, la compresión del inserto 14 seco no debe ser tan grande como para causar una atenuación óptica indebida en ninguna de las guías de onda ópticas y puede incrementarse con el uso de perlas de adhesivo/pegamento. La barra 39 representa una fuerza de arrastre de cinta de aproximadamente 1,5 N/m para un apilamiento de cuatro cintas de 96 fibras a partir de una envoltura 188 de cable del cable 180 como se describe con más detalle a continuación. Preferiblemente, la fuerza de arrastre de la cinta, o fuerza de arrastre para otras configuraciones de guías de onda ópticas, está en el intervalo de aproximadamente 0,5 N/m y aproximadamente 5,0 N/m, más preferiblemente, en el intervalo de aproximadamente 1 N/m a aproximadamente 4 N/m.

La Figura 4 ilustra esquemáticamente una línea 40 de fabricación de ejemplo para el ensamble 10 de tubo de acuerdo con la presente invención; sin embargo, se pueden usar otras variaciones de los conceptos para fabricar otros conjuntos y/o cables de acuerdo con los conceptos de la presente invención. La línea 40 de fabricación incluye al menos un carrete 41 de devolución de guía de onda óptica, un carrete 42 de devolución de inserto seco, una estación 43 de compresión opcional, una estación 43a de pegamento/adhesivo, una estación 44 de unión, una extrusora 45 de cabeza cruzada, un canal 46 de agua y un carrete 49 de recogida. Adicionalmente, el ensamble 10 de tubo puede tener una funda 20 alrededor de él, formando de este modo un cable 50 como se ilustra en la Figura 5. La funda 20 puede incluir elementos 19a de refuerzo y una camisa 19b, que se pueden fabricar en la misma línea que el ensamble 10 de tubo o en una segunda línea de fabricación. El procedimiento de fabricación de ejemplo incluye la recuperación de al menos una guía 12 de onda óptica e inserto 14 seco de los respectivos carretes 41 y 42. Para mayor claridad se muestran solamente un carrete de ganancia para la guía 12 de onda óptica y el inserto 14 seco; sin embargo, la línea de fabricación puede incluir cualquier número adecuado de bobinas de recuperación para fabricar ensambles de tubos y cables de acuerdo con la presente invención. A continuación, el inserto 14 seco se comprime a una altura predeterminada  $h$  en la estación 43 de compresión y se aplica un adhesivo/pegamento



opcional a la superficie exterior del inserto 14 seco en la estación 43a. Entonces, el inserto 14 seco se coloca generalmente alrededor de la guía 12 de ondas óptica y, si se desea, la estación de unión envuelve o cose uno o más hilos de unión alrededor del inserto 14 seco, formando así el núcleo 15. A continuación, el núcleo 15 es alimentado al extrusor 45 de cabeza cruzada, donde el tubo es extrudido alrededor del núcleo 15, formando de este modo el ensamble 10 de tubo. El tubo 18 es entonces templado en el canal 46 agua y luego el ensamble 10 de tubo es enrollado sobre el carrete 49 de recogida. Como se representa en la caja, si se establece una línea de fabricación para hacer el cable 50, entonces los elementos 19a de refuerzo son carretes 47 recuperados y colocados adyacentes al tubo 18, y la camisa 19b es extrudida alrededor de los elementos 19a de refuerzo y el tubo 18 usando la extrusora 48 de cabeza transversal. A continuación, el cable 50 pasa a un segundo canal 46 antes de ser enrollado sobre el carrete 49 de recogida. Adicionalmente, son posibles otros cables y/o líneas de fabricación de acuerdo con los conceptos de la presente invención. Por ejemplo, los cables y/o líneas de fabricación pueden incluir una cinta 19c hinchable en agua y/o un blindaje entre el tubo 18 y los elementos 19a de refuerzo; sin embargo, es posible el uso de otros componentes de cable adecuados.

La Figura 6 es un gráfico que representa los resultados de una fuerza de acoplamiento de cinta para cables que tienen los ensambles de tubos similares como se usan en la Figura 3. La prueba de fuerza de acoplamiento de cinta se utiliza para modelar las fuerzas aplicadas a las guías de onda ópticas al someter un cable a, por ejemplo, halado durante la instalación del cable. Aunque los resultados entre la fuerza de arrastre de la cinta y la fuerza de acoplamiento de la cinta pueden tener fuerzas en el mismo intervalo general, la fuerza de acoplamiento de la cinta es generalmente un mejor indicador del funcionamiento real del cable.

En este caso, la prueba de acoplamiento de cinta simula una instalación de cable subterráneo en un conducto aplicando 600 libras de tensión en un cable de 250 m de longitud, colocando poleas de tracción en las respectivas fundas de los extremos del cable. Sin embargo, se pueden utilizar otras cargas, longitudes y/o configuraciones de instalación adecuadas para caracterizar el acoplamiento de la cinta en otras simulaciones. A continuación, la fuerza sobre las guías de ondas ópticas a lo largo de su longitud se mide desde el extremo del cable. La fuerza en las guías de ondas ópticas se mide utilizando un Reflectómetro óptico de Tiempo-Dominio Brillouin (BOTDR). La determinación de una pendiente de ajuste óptimo de la curva normaliza la fuerza de acoplamiento de la cinta.

Como línea de base para comparación, la curva 60 representa una fuerza de acoplamiento de cinta normalizada de aproximadamente 1.75 N/m para un cable que tiene un apilamiento de cintas de 120 fibras en un cable lleno de grasa convencional (figura 11). La curva 62 representa una fuerza de arrastre de la cinta para un cable que tiene un diseño de tubo seco convencional que tiene una cinta hinchable en agua alrededor de un apilamiento 144 de cintas de fibras (figura 12), que están dispuestas libremente en un tubo. Específicamente, la curva 62 representa una fuerza de acoplamiento de cinta normalizada de aproximadamente 0.15 N/m para el apilamiento 144 de cintas de fibras. Por lo tanto, el diseño de tubo seco convencional (figura 12) tiene una fuerza de acoplamiento de cinta normalizada que es aproximadamente el nueve por ciento de la fuerza de acoplamiento de cinta normalizada del tubo convencional lleno de grasa (figura 11), que es inadecuada para un funcionamiento apropiado del cable. En otras palabras, el apilamiento de cintas del cable de tubo seco convencional es fácilmente desplazable durante el estiramiento de la funda de cable, por ejemplo, durante la carga aérea de hielo, el galope aéreo, las excavaciones de cable y el arrastre durante la instalación del cable.

Las curvas 64, 66, 68 y 69 representan cables de acuerdo con la presente invención. Específicamente, la curva 64 representa una fuerza de acoplamiento de cinta de un cable que tiene un apilamiento de fibras 144 con un ensamble 10 de tubo que tiene un inserto 14 seco con una altura  $h$  no comprimida de aproximadamente 1,5 mm con aproximadamente una compresión de cero por ciento del inserto 14 seco. En esta realización, la curva 64 representa una fuerza de acoplamiento de cinta de aproximadamente 0,80 N/m, que es una mejora con respecto al cable seco convencional de la Figura 12. Las curvas 66 y 68 representan configuraciones de cable en las que el inserto 14 seco se comprime dentro del ensamble 10 de tubo en un porcentaje desde su altura original hasta una altura comprimida media. Más específicamente, la curva 66 representa una fuerza de acoplamiento de cinta de un cable similar al de la curva 64, y se espera que en esta realización el inserto 14 seco se comprima aproximadamente el treinta por ciento. En esta realización, la curva 66 representa una fuerza de acoplamiento de cinta de aproximadamente 2,80 N/m. La curva 68 representa una fuerza de acoplamiento de cinta de un cable que tiene un apilamiento 144 de cintas de fibras de un cable que tiene un ensamble de tubo con un inserto 14 seco que tiene una altura  $h$  no comprimida de aproximadamente 3 mm, que se comprime aproximadamente un treinta por ciento dentro del tubo. En esta realización, la curva 68 representa una fuerza de acoplamiento de cinta de aproximadamente 0,75 N/m. La curva 69 representa una fuerza de acoplamiento de cinta de un cable que tiene un apilamiento 144 de cintas de fibras de un cable que tiene un ensamble de tubo con un inserto 14 seco que tiene una altura  $h$  no comprimida de aproximadamente 1,5 mm que se comprime aproximadamente en diecisiete por ciento dentro del tubo e incluye adhesivo/pegamento. En este caso, se aplicaron cuatro perlas de pegamento de forma continua longitudinalmente a lo largo del inserto seco de manera que estuvieran espaciadas a aproximadamente 90 grados. Como se muestra, la curva 69 representa una fuerza de acoplamiento de cinta que es similar a la curva 66, aproximadamente 2,80 N/m, con menos compresión del inserto seco. Por lo tanto, de acuerdo con los conceptos de la presente invención, la fuerza de acoplamiento de la cinta está preferiblemente en el intervalo de aproximadamente 0,5 N/m a aproximadamente 5,0 N/m, más preferiblemente, en el intervalo de aproximadamente 1 N/m a

aproximadamente 4 N/m. Sin embargo, otros rangos adecuados de fuerza de acoplamiento de cinta pueden proporcionar el rendimiento deseado.

Adicionalmente, los conceptos de la presente invención se pueden emplear con otras configuraciones del inserto seco. Como se representa en la Figura 7, el inserto seco 74 tiene una primera capa 74a y una segunda capa 74b que incluye diferentes tipos adecuados de sustancias hinchables en agua. En una realización, dos sustancias hinchables en agua diferentes se disponen en, o sobre, la segunda capa 14b, de manera que el ensamble 10 de tubo es útil para múltiples entornos y/o tiene un comportamiento de bloqueo de agua mejorado. Por ejemplo, la segunda capa 14b puede incluir un primer componente 76 hinchable en agua eficaz para líquidos ionizados tales como agua salada y un segundo componente 78 hinchable en agua efectivo para líquidos no ionizados. A modo de ejemplo, el primer material acuoso es una poliacrilamida y el segundo material hinchable en agua es un superabsorbente de poliacrilato. Además, los componentes 76, 78 primero y segundo hinchables en agua pueden ocupar secciones predeterminadas de la cinta hinchable en agua. Al alternar los materiales hinchables en agua, la cinta es útil para aplicaciones estándar, aplicaciones de agua salada o ambas. Otras variaciones de diferentes sustancias hinchables en agua incluyen tener una sustancia hinchable en agua con diferentes velocidades de hinchamiento, fuerzas de gel y/o adhesión con la cinta.

La Figura 8 representa otra realización del inserto seco. El inserto 84 seco se forma a partir de tres capas. Las capas 84a y 84c son capas hinchables en agua que contienen en sándwich una capa 84b que es compresible para proporcionar una fuerza de acoplamiento a la al menos una guía de onda óptica. De manera similar, otras realizaciones del inserto seco pueden incluir otras variaciones tales como al menos dos capas compresibles que contienen en sándwich una capa hinchable en agua. Las dos capas compresibles pueden tener diferentes constantes de muelle para adaptar la fuerza normal aplicada a la al menos guía de onda óptica.

La Figura 9 ilustra un inserto 94 seco que tiene capas 94a y 94b de acuerdo con otra realización de la presente invención. La capa 94a está formada a partir de una espuma de celda cerrada que tiene al menos una perforación 95 a su través y la capa 94b incluye al menos una sustancia hinchable en agua; sin embargo, se pueden usar otros materiales adecuados para la capa compresible. La espuma de celda cerrada actúa como un material pasivo que bloquea el agua que impide que el agua migre a lo largo de la misma y la perforación 95 permite que una sustancia hidrófuga activada de la capa 94b migre radialmente hacia dentro hacia la guía de onda óptica. Es permisible cualquier tamaño, forma y/o patrón adecuado de perforación 95 que permita que la sustancia hinchable en agua activada migre radialmente hacia dentro para bloquear eficazmente el agua. El tamaño, la forma y/o el patrón de perforaciones se pueden seleccionar y disponer alrededor de las guías de onda ópticas de esquina al apilamiento, mejorando así el rendimiento de la guía de onda óptica en ángulo. Por ejemplo, las perforaciones 95 pueden proporcionar variación en la compresibilidad del inserto seco, adaptando de este modo la fuerza normal sobre las guías de onda ópticas para mantener el rendimiento óptico.

La Figura 10 representa el inserto 104 seco, que ilustra otros conceptos de la presente invención. El inserto 104 seco incluye capas 104a y 104b. La capa 104a está formada por una pluralidad de elementos comprimibles no continuos que están dispuestos sobre la capa 104b, que es una capa continua hinchable en agua. En una realización, los elementos de la capa 104a están dispuestos a intervalos regulares que se correlacionan generalmente con la longitud de la disposición de un apilamiento de cintas. Además, los elementos tienen una altura h que varía a través de su anchura w. Dicho de otra manera, los elementos están configurados para adaptarse a la forma de las guías de onda ópticas que están destinados a rodear en general.

La Figura 13 representa el cable 130, que es otra realización de la presente invención que emplea el ensamble 10 de tubo. El cable 130 incluye un sistema de funda 137 alrededor del ensamble 10 de tubo para proteger el ensamble 10 de tubo de, por ejemplo, fuerzas de aplastamiento y efectos ambientales. En este caso, el sistema 137 de envoltura incluye una cinta hinchable en agua 132 que está asegurada por un hilo de unión (no visible), un par de cordones 135 de rotura, una cinta 136 de blindaje y un revestimiento 138. La cinta 136 de blindaje se forma preferiblemente en rollo; sin embargo, se pueden usar otros métodos de fabricación adecuados. El par de cordones 135 de rotura están dispuestos generalmente alrededor de ciento ochenta grados de separación con intervalos de aproximadamente noventa grados desde la superposición de blindaje, inhibiendo de este modo el corte del cordón de rotura en un borde de la cinta de blindaje durante el uso. En realizaciones preferidas, los cordones de rotura adecuados para rasgar a través de una cinta de blindaje tienen una construcción como se describe en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 10/652,046 presentada el 29 de agosto de 2003. La cinta 136 de blindaje puede ser un material dieléctrico o un material metálico. Si se utiliza una cinta de blindaje dieléctrica, el cable puede incluir también un alambre metálico para localizar el cable en aplicaciones ocultas. En otras palabras, el cable metálico hace que el cable sea afinable. El revestimiento 138 rodea generalmente la cinta 136 de blindaje y proporciona protección ambiental al cable 130. Por supuesto, se pueden usar otros sistemas de funda adecuados alrededor del ensamble de tubo.

La Figura 14 representa el cable 140 de fibra óptica. El cable 140 incluye al menos una guía 12 de ondas óptica y un inserto 14 seco que forma un núcleo 141 de cable dentro de un sistema 142 de funda. En otras palabras, el cable 140 es un diseño sin tubo porque el acceso al núcleo 141 de cable es logrado únicamente cortando el sistema 142

de funda abierto. El sistema 142 de funda también incluye elementos de refuerzo 142a incrustados en el mismo y dispuestos a aproximadamente 180 grados de distancia, impartiendo de este modo una curva preferente al cable. Por supuesto, son posibles otras configuraciones de sistemas de envoltura tales como tipos, cantidades y/o colocación diferentes de elementos 142a de refuerzo. El cable 140 también puede incluir uno o más cordones 145 de rotura dispuestos entre el núcleo 141 de cable y la funda 142 para desgarrar la funda 142, permitiendo así al operario un fácil acceso al núcleo 141 de cable.

La Figura 15 representa un cable 150 de fibra óptica que tiene una pluralidad de ensambles 10 de tubo trenzados alrededor de un miembro 151 central. Específicamente, los ensambles de tubo 10 junto con una pluralidad de barras 153 de relleno están trenzados sobre el miembro 15 central y están asegurados con uno o más hilos de unión (no visible), formando así un núcleo de cable trenzado. El núcleo de cable trenzado tiene una cinta 156 hinchable en agua alrededor de la misma, la cual está asegurada con un hilo de unión (no visible) antes de que la camisa 158 sea extrudida sobre ella. Opcionalmente, las fibras de aramida, otros miembros de resistencia adecuados y/o componentes de bloqueo de agua tales como hilos hinchables en agua pueden estar trenzados alrededor del miembro 151 central, formando de este modo una porción del núcleo de cable trenzado. Igualmente, se pueden colocar componentes hinchables en agua, tales como hilos o cinta, alrededor del elemento 151 central para inhibir la migración de agua a lo largo del centro del cable 150. Otras variaciones del cable 150 pueden incluir una cinta de blindaje, una camisa interior y/o números diferentes de los ensambles de tubos.

Las figuras 16 y 17 representan diseños explanados de cables sin tubo de acuerdo con la presente invención. Específicamente, el cable 160 es un cable de caída que tiene al menos una guía 12 de ondas óptica rodeada generalmente por inserto 14 seco dentro de una cavidad de la cubierta 168. El cable 160 también incluye al menos un elemento 164 de refuerzo. También son posibles otras configuraciones de cable de caída sin tubo, o configuraciones ovales. La Figura 17 representa un cable 170 de caída de figura ocho sin tubo que tiene una sección 172 de mensajero y una sección 174 de soporte conectada por una camisa 178 común. La sección 172 de mensajero incluye un miembro 173 de resistencia y la sección 174 de soporte incluye una cavidad que tiene al menos una guía 12 de onda óptica que está generalmente rodeada por el inserto 14 seco. La sección 174 de soporte también puede incluir al menos un miembro 175 antibloqueo en el mismo para inhibir el encogimiento cuando la sección 174 de soporte está separada de la sección 172 de mensajero. Aunque las figuras 16 y 17 representan el inserto seco de la Figura 2 se puede usar cualquier inserto seco adecuado.

Las figuras 18 y 18a representan respectivamente los cables 180 y 180' que emplean los conceptos de la presente invención en una configuración de cable sin tubo que tiene una forma generalmente plana. El cable 180 incluye al menos una guía 12 de ondas óptica y una pluralidad de insertos 184a, 184b secos que están al menos parcialmente dispuestos dentro de una cavidad 188a de un revestimiento 188 de cable. Como se representa, las superficies principales (por ejemplo planas) (no numeradas) de los insertos 184a, 184b están generalmente alineadas con las superficies principales (por ejemplo, horizontales) (no numeradas) de la cavidad 188a, permitiendo de este modo una configuración compacta y eficiente mientras que generalmente inhibe el contacto de la fibra de esquina como ocurre con un apilamiento de cintas en un tubo redondo. En esta realización, la guía 12 de onda óptica es una porción de una cinta 182 de fibra óptica (representada por la línea horizontal) y los insertos 184a, 184b secos intercalan una pluralidad de cintas 182 en un apilamiento no trenzada, formando así un núcleo 185 de cable. Consecuentemente, el cable 180 tiene las cintas 182, las superficies principales de los insertos 184a, 184b secos, y las superficies principales de la cavidad 188a están generalmente alineadas o son generalmente paralelas. Además, los insertos 184a, 184b secos entran en contacto con al menos una parte de las respectivas cintas 182 superior o inferior. El cable 180 incluye además al menos un miembro 189 de resistencia para proporcionar resistencia a la tracción y en esta realización incluye dos elementos 189 de resistencia dispuestos en lados opuestos de la cavidad 188a. Los miembros de resistencia 189 pueden estar formados a partir de cualquier material adecuado tal como dieléctricos, conductores, compuestos o similares. El cable 180 es ventajoso como un cable de distribución como se describe en la patente de los Solicitudes Estados Unidos Serie No. 11/193,516 presentada el 29 de julio de 2005. El cable 180' es similar al cable 180, pero tiene seis fibras 12 ópticas flojas (en lugar de cintas) dispuestas entre los insertos 184a y 184b secos. De nuevo, las fibras 12 ópticas entran en contacto con al menos una porción de uno de los insertos 184a, 184b secos. Por supuesto, los cables 180, 180' y otros cables similares pueden tener aplicaciones además de cables de distribución tales como aplicaciones de larga distancia, campus, caída, interior u otras aplicaciones.

La cinta 182 incluye veinticuatro fibras ópticas y es una porción de un apilamiento de cintas (no numerada) formada por la pluralidad de cintas 182 que están al menos parcialmente dispuestas dentro de la cavidad 188a (figura 18b) del revestimiento 188 de cable. Las cintas del apilamiento pueden emplear una construcción divisible utilizando subunidades y/o concentraciones de tensión como se conoce en la técnica, permitiendo así la separación de la cintas en grupos más pequeños de fibras ópticas. Por supuesto, las cintas podrían utilizar cualquier número adecuado de fibras ópticas y/o diferentes cintas podrían tener números diferentes de fibras ópticas. Un primer inserto 184a seco y un segundo inserto 184b seco están dispuestos dentro de la cavidad y están dispuestos generalmente en lados opuestos al apilamiento de las cintas (o fibras ópticas como en el cable 180'). Como se representa en el cable 180, los insertos 184a, 184b secos están generalmente alineados con una superficie principal (es decir, el lado horizontal) de la cavidad 188a en la parte superior e inferior y también generalmente alineados con

la anchura (es decir, superficies principales) de las cintas, formando de este modo un apilamiento compuesto de cinta óptica/inserto seco dentro de la cavidad 188a. Por consiguiente, el apilamiento de cintas rectangulares (o cuadradas) se ajusta a una cavidad generalmente rectangular (o cuadrada) correspondiente y evita los problemas asociados con la colocación de un apilamiento de cintas rectangulares (o cuadradas) dentro de un tubo amortiguador redondo (es decir, el apilamiento de cintas en un tubo de amortiguación redondo que puede causar que el cable falle en los requisitos de rendimiento óptico tal como ocurre durante la flexión). Los insertos 184a, 184b secos actúan para acoplar, amortiguar y permitir el movimiento y separación de las cintas (o fibras ópticas) para acomodar el curvado del cable 180. Además, una o más de las inserciones secas pueden proporcionar opcionalmente bloqueo al agua.

Los cables de fibra óptica como el cable 180 son ventajosos como cables de distribución, ya que pueden tener un conteo de guía de onda óptica relativamente alto con una huella en sección transversal relativamente pequeña. A título de ejemplo, una realización explicativa del cable 180 tiene cuatro cintas con cada cinta que tiene veinticuatro fibras ópticas para un recuento total de fibras de noventa y seis fibras. Además, las cuatro cintas de esta realización explicativa tienen un exceso de longitud de cinta (ERL) de aproximadamente 0,5% o más tal como en el intervalo de aproximadamente 0,6% a aproximadamente 0,8%. Con veinticuatro cintas de fibra, el cable 180 tiene una dimensión de cable W principal de aproximadamente 15 milímetros o menos y una dimensión de cable menor H de aproximadamente 8 milímetros o menos. Además, los elementos 189 de resistencia de esta realización explicativa están formados a partir de un plástico reforzado con vidrio (GRP) y tienen una dimensión D de aproximadamente 2,3 milímetros, que es menor que la altura de la cavidad 188a. El radio de curvatura mínimo de esta realización explicativa es de aproximadamente 125 milímetros, lo que permite que el cable se enrolle en un diámetro relativamente pequeño para el almacenamiento suelto. Por supuesto, con los conceptos de la invención son posibles otros recuentos/componentes de fibras/bandas, componentes, ERL y/o dimensiones de cable adecuados. A título ilustrativo, los cables similares al cable 180 podrían tener cuatro cintas con diferentes conteos de fibras, tales como: (1) doce cintas de fibra con una dimensión de cable W principal de aproximadamente 12 milímetros o menos para un total de cuarenta y ocho fibras ópticas; (2) treinta y seis cintas de fibra con una dimensión mayor de cable W de aproximadamente 18 milímetros o menos para un total de ciento cuarenta y cuatro fibras ópticas; o (3) cuarenta y ocho cintas de fibra con una dimensión de cable W principal de aproximadamente 21 milímetros o menos para un total de doscientas dieciséis fibras ópticas.

La Figura 18b representa esquemáticamente la cavidad 188a del cable 180. La cavidad 188a tiene una altura de cavidad CH y una anchura de cavidad CW. A modo de ejemplo para la realización explicativa analizada anteriormente, cada cinta 182 tiene una altura de aproximadamente 0,3 milímetros para una altura FH de fibra (cinta) de aproximadamente 1,2 milímetros (4 veces 0,3 milímetros) y la cavidad 188a tiene una altura de cavidad CH de aproximadamente 5,5 milímetros. La anchura de la cavidad CW se determina generalmente por la anchura de las cintas (o el número de fibras ópticas) destinadas al cable y sería aproximadamente 7,5 milímetros para las veinticuatro cintas de fibra. Los insertos 184a, 184b secos ocupan la cavidad en la parte superior e inferior del apilamiento de cintas. En una realización, los insertos 184a, 184b secos tienen una altura h no comprimida de aproximadamente 1,8 milímetros, pero son posibles otras alturas h no comprimidas adecuadas para insertos secos. Tal como se representa por la barra 39 en la Figura 3, esta forma de realización explicativa con una altura de cavidad de 5,5 milímetros CH, altura de fibra FH de aproximadamente 1,2 milímetros y dos insertos secos de 1,8 milímetros tenía una fuerza de arrastre de cinta normalizada de aproximadamente 1,5 N/m, pero son posibles otras fuerzas de arrastre de cinta normalizadas adecuadas. La compresión de los insertos 184a, 184b secos es la compresión máxima localizada del inserto seco y generalmente ocurre cuando la cinta o el apilamiento de cintas tiene el desplazamiento máximo desde el eje neutro si el cable incluye un ERL positivo como se representa esquemáticamente en la Figura 19a.

Ilustrativamente, la realización explicativa tiene una altura total para los insertos secos no comprimidos y la altura FH de la fibra (es decir, la cinta) de aproximadamente 4,8 milímetros, que es menor que la altura de la cavidad de 5,5 milímetros. Consecuentemente, la fuerza de arrastre de cinta normalizada es generalmente causada por el apilamiento ondulada de la cinta que provoca una compresión máxima localizada debido a la ERL y/o fricción. A modo de ejemplo, puede conseguirse un acoplamiento apropiado del apilamiento de cintas (o cintas o fibras ópticas) cuando la altura no comprimida combinada de los insertos secos es aproximadamente el 40% o más de la altura de la cavidad CH tal como utilizando dos insertos secos de 1 milímetro. Con una cavidad que tiene una altura de cavidad CH de aproximadamente 5 milímetros. Por supuesto, son posibles otras proporciones adecuadas mientras se mantenga el rendimiento óptico. En la realización explicativa, la altura no comprimida combinada (2 veces 1,8 milímetros es igual a 3,6 milímetros) de los insertos secos es aproximadamente el 65% de la altura de cavidad CH (5,5 milímetros), que es más del 50% de la altura de cavidad CH. Por supuesto, la cavidad, las cintas y/o los insertos secos pueden tener otras dimensiones adecuadas al mismo tiempo que proporcionan un rendimiento adecuado. Por ejemplo, se pueden usar cintas más delgadas y/o insertos secos. Aunque la cavidad 188a se representa como rectangular puede ser difícil hacer una cavidad rectangular como se muestra, es decir, el proceso de extrusión puede crear la cavidad con una forma rectangular algo irregular. De manera similar, la cavidad puede tener otras formas adecuadas, además de generalmente rectangulares tales como ovaladas, redondas o similares, que pueden generalmente cambiar la relación (alineación) entre el inserto seco, la cinta y/o la cavidad.

Los insertos 184a, 184b secos pueden ser de cualquier material adecuado, tal como una capa compresible de, por ejemplo, cinta de espuma para amortiguar, acoplar, permitir el movimiento y acomodar la curvatura de las cintas (o fibras ópticas dentro de la cavidad 188a u otros materiales adecuados. Como se representa, los insertos 184a, 184b secos pueden incluir también opcionalmente una capa hinchable en agua para bloquear la migración de agua a lo largo de la cavidad 188a. A modo de ejemplo, el inserto seco puede incluir una cinta que puede ser sometida a agua, que está laminada a una capa compresible tal como una cinta de espuma de poliuretano de celdas abiertas, pero por supuesto otros materiales y construcción adecuados son posibles para el inserto seco. Igualmente, los cables de la presente invención pueden tener un inserto seco y un componente de bloqueo de agua separado, tal como un hilo o hilo hinchable en agua dispuesto dentro de la cavidad. En otras palabras, el inserto seco y el componente de bloqueo de agua pueden ser componentes separados. Como se representa, la capa hinchable en agua de los insertos 184a, 184b secos se enfrenta generalmente a la cavidad (es decir, se separa de las fibras ópticas o cintas), pero otras realizaciones la capa hinchable en agua puede hacer frente a las fibras o cintas ópticas. En otra variación de cable, las cintas hinchables en agua están generalmente alineadas con las cintas en una configuración en sándwich en la cavidad como en el cable 180; sin embargo, esta variación de cable puede no proporcionar el acoplamiento de cinta deseado.

En general, la colocación de insertos secos en extremos opuestos al apilamiento de cintas (o una sola cinta o fibras ópticas sueltas) ayuda a influir y mantener una distribución ERL generalmente uniforme a lo largo del cable durante diferentes condiciones, ayudando así a preservar el rendimiento óptico. Las figuras 19 y 19a son representaciones esquemáticas que muestran respectivamente los apilamiento de cintas de dos cables 192, 192a diferentes, que son similares al cable 180, dispuestos en una configuración recta (es decir, no en una condición de flexión). Un eje neutro NA de los cables 192, 192a está representado por la línea de trazos. Más específicamente, la Figura 19 representa el cable 192 con un apilamiento 194 de cintas que tiene cero ERL y la Figura 19a representa el cable 192a con un apilamiento 194a de cintas que tiene un ERL positivo. Como se muestra, el apilamiento 194 de cintas (no ERL) es generalmente recta dentro del cable 192 a lo largo del eje neutro NA y el apilamiento 194a de cintas (ERL positivo) tiene un perfil generalmente ondulado alrededor del eje neutro NA para acomodar el ERL. Cuando los cables 192, 192a están doblados, las cintas se reposicionan dentro del cable para acomodar los cambios de longitud en la cavidad debido a la flexión (es decir, la superficie superior de la cavidad se alarga y la superficie inferior de la cavidad es más corta).

Las figuras 19b y 19c son representaciones esquemáticas que muestran respectivamente los cables 192, 192a durante el curvado con las dos cintas medias retiradas para mayor claridad. Como se representa en la Figura 19b, una cinta RT superior al apilamiento 194 de cintas (que no tiene ERL) se desplaza generalmente a un estado de baja tensión cerca del eje neutro NA del cable durante la flexión. Por consiguiente, la cinta superior RT empuja hacia abajo sobre las otras cintas el apilamiento 194 de cintas, causando de este modo una severa flexión en la cinta inferior (junto con las otras cintas) del apilamiento que puede causar niveles relativamente altos de atenuación óptica o incluso fibras ópticas oscuras. Como se muestra, la cinta superior RT fuerza una cinta inferior BR al apilamiento 194 de cintas (sin ERL) en curvas cerradas (ver las flechas) que causan niveles relativamente altos de atenuación. Por otro lado, la Figura 19c muestra que el apilamiento 194a de cintas (ERL positivo) permite que la cinta superior permanezca generalmente por encima del eje neutro NA del cable 192a, permitiendo así que la cinta de fondo BR tenga curvas más graduales (es decir, la curvatura sea generalmente sinusoidal), preservando así el rendimiento óptico de la cinta inferior RB. Además, el acoplamiento de cinta a cable es beneficioso para influir en una distribución ERL relativamente uniforme a lo largo del cable, tal como durante el curvado, lo que generalmente permite pequeños radios de curvatura de cable. Otros factores tales como el tamaño de la cavidad y/o la compresión del inserto seco pueden también influir en la distribución ERL/EFL a lo largo del cable.

Otro aspecto de rendimiento óptico de los cables que tienen un perfil generalmente plano con un apilamiento de cintas no trenzadas es la cantidad total de ERL requerida para un rendimiento de cable adecuado. La cantidad de ERL para el funcionamiento adecuado del cable depende generalmente del diseño del cable tal como el número de cintas. En general, el ERL mínimo para cables que tienen una única cinta está determinado por el nivel de tensión de fibra deseado a la carga de cable nominal; mientras que el ERL mínimo para un cable de cinta múltiple está generalmente influenciado por el rendimiento de flexión. Más específicamente, al seleccionar el límite ERL mínimo para un diseño de cable, se debe considerar la geometría y el material del miembro de resistencia (es decir, el área de la sección transversal y el módulo de Young) para calcular el nivel deseado de deformación de la fibra a la carga de tracción nominal del diseño del cable. Además, la cantidad de ERL requerida para la flexión aumenta generalmente a medida que aumenta el número de cintas en el apilamiento ya que las cintas exteriores al apilamiento de cintas están más alejadas del eje neutro del cable. Sin embargo, hay límites en el extremo superior de ERL para rendimiento óptico adecuado (es decir, demasiado ERL puede degradar el rendimiento óptico). Un nivel superior óptimo de ERL puede calcularse usando la altura de cavidad CH, el espesor de cinta  $t_r$ , y el radio de curvatura R mínimo deseado. La ecuación 1 es una fórmula para hacer coincidir generalmente la curva de la superficie superior de la cavidad con la curvatura en la cinta para determinar un nivel superior casi óptimo de ERL. Sin embargo, los cables pueden utilizar un nivel superior para ERL que es mayor que el dado por la fórmula y todavía tienen un rendimiento adecuado del cable.

$$\text{Nivel Superior ERL} = 50 \left( \frac{h - t_r}{R} \right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Como ejemplo de la ecuación 1, un cable que tiene una altura de cavidad CH de aproximadamente 4 milímetros, un espesor de cinta de aproximadamente 0,3 milímetros y un radio de curvatura mínimo deseado de aproximadamente 150 milímetros tendría un nivel superior próximo óptimo de ERL de aproximadamente 1,2%. Además, los cables que

tienen niveles relativamente altos de ERL, tales como en el intervalo de 0,6% a 1,5%, pueden ser adecuados para instalaciones autoportantes tales como carga pesada NESC, pero el ERL particular para un diseño dado debe tener el rendimiento de cable deseado. Por otra parte, cables tales como el cable 180' que tiene fibras 12 ópticas sueltas pueden tener valores más bajos de longitud de fibra en exceso (EFL) tal como aproximadamente 0,2% de EFL, puesto que todas las fibras ópticas están situadas cerca del eje neutro del cable.

Aunque los insertos 184a, 184b secos del cable 180 están dispuestos tanto en la parte superior como en la parte inferior al apilamiento de cintas, uno o más insertos secos pueden ser envueltos alrededor de las fibras ópticas o dispuestos en uno o más de sus lados como se representa en la Figura 20. Específicamente, la Figura 20 muestra cuatro insertos 204a, 204b, 204c, 204d secos independientes dispuestas alrededor del apilamiento de cintas. En otra realización, se pueden colocar dos insertos secos en los lados del apilamiento de cintas (es decir, las ubicaciones de los insertos 204c, 204d secos) en lugar de la parte superior e inferior del apilamiento de cintas. En otra realización más, los cables de la presente invención pueden incluir un único inserto seco, tal como en un lado del apilamiento de cintas o en el centro del apilamiento (es decir, cintas a ambos lados del inserto seco).

La Figura 21 representa el cable 210 que es similar al cable 180, pero incluye además al menos una capa 211 de blindaje y en esta realización dos capas 211 de blindaje. Las capas 211 de blindaje están situadas respectivamente por encima y por debajo de la cavidad para inhibir las brechas no intencionadas tales como de roedores o puntos de aplastamiento. La capa 211 de blindaje puede formarse a partir de cualquier material adecuado tal como un material conductor tal como acero o un dieléctrico tal como poliamida, policarbonato o un tejido trenzado formado de fibra de vidrio, aramida o similar. La Figura 22 representa otro cable 220 que incluye al menos una capa 221 de blindaje. El cable 220 es similar al cable 180, pero tiene una capa 221 de blindaje envuelta alrededor de una camisa 228 de cable y está recubierta adicionalmente con una segunda camisa 228a, cubriendo así la capa 221 de blindaje.

La Figura 23 representa el cable 230 que es similar al cable 180, pero incluye además un tubo 231 para proteger las fibras ópticas. El tubo 231 puede estar formado de cualquier material adecuado y además protege las fibras ópticas del cable. El tubo 231 puede formarse en un proceso de extrusión separado o como coextrusión con una camisa 238 de cable. El tubo 231, junto con camisas de cable, se puede formar a partir de cualquier material adecuado tal como un polímero. A modo de ejemplo, una realización tiene un tubo formado de HDPE y la envoltura de cable se forma a partir de un MDPE, pero se puede usar cualquier combinación adecuada de materiales. Igualmente, se pueden usar materiales ignífugos, haciendo de este modo los cables adecuados para aplicaciones en interiores. Adicionalmente, el cable 230 incluye además un lóbulo 238a de afinación que tiene un hilo 233 de tonificación útil para localizar el cable en aplicaciones ocultas. El lóbulo 238a de afinación está conectado a la camisa de cable 238 por una banda (no numerada), permitiendo así que el lóbulo 238a de afinación se separe del cuerpo de cable principal. Además, los cables sin lóbulo de tono pueden tener la capacidad de ser afinables utilizando uno o más componentes de cable que sean conductores. Además, los cables pueden conducir energía eléctrica si uno o más de los componentes de cable son conductores, tales como incluir un par trenzado de hilos de cobre o usando miembros de resistencia conductora.

Las figuras 24 y 25 representan respectivamente los cables 240 y 250 que son similares al cable 180, pero tienen diferentes formas de cable de sección cruzada. El cable 240 representa una sección transversal de cable en general en forma de hueso PARR54 para la camisa 248 de cable y el cable 250 ilustra otra variación en la sección transversal de cable. El cable 250 tiene porciones 258a rebajadas de manera que el operario puede separar uno o más elementos 259 de resistencia a lo largo de una porción del cable. Por supuesto, son posibles otras formas de sección transversal con los conceptos de la invención.

La Figura 26 ilustra esquemáticamente una línea 260 de fabricación de ejemplo para el cable 180 de acuerdo con la presente invención; sin embargo, se pueden usar otras variaciones de los conceptos para fabricar otros conjuntos y/o cables de acuerdo con los conceptos de la presente invención. La línea 260 de fabricación incluye al menos un carrete 261 de devolución de cinta óptica, una pluralidad de carretes 262 de devolución de inserto seco, una pluralidad de carretes 263 de devolución de miembro de resistencia, una pluralidad de cabrestantes 264 de elementos de refuerzo, una extrusora 265 de cabeza cruzada, un canal 266 de agua, una o más orugas 267, y un carrete 269 de recogida. Además, el cable 180 puede incluir además una capa de blindaje y una segunda cubierta de cable alrededor, formando de este modo un cable similar al cable 220 como se ilustra en la Figura 22. La capa de blindaje y/o la segunda cubierta de cable pueden fabricarse en la misma línea que el cable 180 o en una segunda línea de fabricación. El procedimiento de fabricación de ejemplo incluye la recuperación de al menos una cinta 182

de fibra óptica y un inserto 184a, 184b seco, de los respectivos carretes 261, 262 y 262. Solamente se muestra un carrete 182 de devolución para la cinta de fibra óptica para mayor claridad. Sin embargo, las líneas de fabricación pueden incluir cualquier número adecuado de bobinas de devolución para una o más cintas o fibras ópticas con el fin de fabricar conjuntos y/o cables de acuerdo con la presente invención. Posteriormente, los insertos 184a, 184b secos se colocan generalmente alrededor de la cinta 182 de fibra óptica, formando de este modo el núcleo 185 de cable (es decir, un apilamiento o sándwich de material compuesto de cinta de inserción seca). Además, los elementos 189 de refuerzo están desprendiendo los respectivos carretes 263 bajo una tensión relativamente alta (por ejemplo, entre aproximadamente 100 a aproximadamente 400 libras) usando los cabrestantes de elementos 264 de resistencia respectivos, con lo que se estira elásticamente los elementos 189 de resistencia (representados por las flechas) de modo que ERL sea producido en el cable. En otras palabras, después de que la tensión se libera sobre los elementos 189 de resistencia vuelven a su longitud original sin tensión (es decir, acortan), produciendo ERL ya que las cintas se introdujeron en el cable con aproximadamente la misma longitud que los miembros de resistencia tensados y las cintas no fueron estiradas. Dicho de otra manera, la cantidad de ERL producida es igual a aproximadamente la deformación del miembro de resistencia más cualquier contracción plástica de la envoltura del cable que pueda ocurrir. A continuación, el núcleo 185 de cable y los elementos 189 de resistencia se introducen en la extrusora 265 de cabeza cruzada, donde la envoltura 188 de cable se extrude alrededor del núcleo 185 de cable y elementos 189 de resistencia, formando de este modo el cable 180. El cable 180 es enfriado a continuación en el canal 266 de agua. El cable 180 se tira a través de la línea de fabricación utilizando una o más orugas 267 y después se enrolla sobre el carrete 269 de recogida bajo baja tensión. Tal como se representa en la caja, si se configura una línea de fabricación para hacer el cable similar al cable 220, se utiliza un segundo recogedor 267 para tirar del conjunto de cable cuando la capa 221 de blindaje se descarga un carrete 270 y se forma alrededor del cable 180 utilizando un equipo de formación de blindaje adecuado (no representado), y se extrude una segunda camisa 188a utilizando una extrusora 272 de cabeza cruzada. A continuación, el cable 180' blindado pasa a un segundo canal 274 de agua antes de ser enrollado en el carrete 269 de recogida. Adicionalmente, son posibles otros cables y/o líneas de fabricación de acuerdo con los conceptos de la presente invención. Por ejemplo, los cables y/o líneas de fabricación pueden incluir una cinta, hilo o similares hinchables en agua; sin embargo, es posible el uso de uno o más componentes de cable adecuados.

Muchas modificaciones y otras realizaciones de la presente invención, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, resultarán evidentes para un experto en la materia. Por ejemplo, se pueden formar guías de onda ópticas en una variedad de apilamiento de cintas o configuraciones tales como un perfil escalonado del apilamiento de cintas (es decir, la sección transversal del apilamiento de cintas tiene la forma de un signo más). Los cables de acuerdo con la presente invención también pueden incluir más de un tubo óptico ensamblado trenzado helicoidalmente, en lugar de configuraciones trenzadas S-Z. Adicionalmente, los insertos secos de la presente invención se pueden laminar entre sí como se muestra o aplicarse como componentes individuales. Por lo tanto, debe entenderse que la invención no está limitada a las realizaciones específicas descritas en la presente memoria y que pueden realizarse modificaciones y otras realizaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Aunque aquí se emplean términos específicos, se usan en un sentido genérico y descriptivo solamente y no con fines de limitación. La invención se ha descrito con referencia a guías de onda ópticas basadas en sílice, pero los conceptos inventivos de la presente invención son aplicables a otras guías de onda ópticas y/o configuraciones de cable adecuadas.

## REIVINDICACIONES

1. Un cable de fibra óptica que comprende:  
  
una camisa (188) de cable teniendo la camisa de cable una cavidad en ella y la cavidad tiene una superficie principal y una forma en general rectangular;
- 5 una pluralidad de cintas (182) de fibra óptica dispuestas dentro de la cavidad, teniendo cada cinta de fibra óptica al menos una guía (12) de onda óptica que es una parte de la pluralidad de cintas (182) de fibra óptica;  
  
al menos dos elementos (189) de resistencia, estando dispuestos los al menos dos elementos de resistencia en lados opuestos de la cavidad; y  
  
al menos una capa (211) de blindaje situada por encima y por debajo de la cavidad; y
- 10 un primer inserto (184a) seco y un segundo inserto (184b) seco, estando dispuestos el primero y segundo insertos secos dentro de la cavidad de modo que al menos una guía de onda óptica esté dispuesta entre el primer inserto seco y el segundo inserto seco para acoplar la al menos una guía de onda óptica a la cubierta de cable y el primer inserto seco tiene una superficie principal que está en general alineada con la superficie principal de la cavidad, en el que el primero y el segundo insertos secos contienen en sándwich la pluralidad de cintas de fibra óptica en una pila
- 15 no trenzada donde el apilamiento tiene un exceso de longitud de cinta positiva en un intervalo de 0,6% a 1,5% y tiene un perfil en general ondulado alrededor de un eje neutro del cable para acomodar la longitud de cinta adicional.
2. El cable de fibra óptica de la reivindicación 1, que comprende además un lóbulo (238a) de afinación que tiene un alambre (233) de afinación.
3. El cable de fibra óptica de la reivindicación 1 o 2, en el que el primero y segundo insertos secos tienen una altura combinada no comprimida, siendo la altura combinada no comprimida de aproximadamente el 40% o más de una altura de cavidad (CH).
4. El cable de fibra óptica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, teniendo uno de los al menos dos miembros de resistencia una dimensión (D) del miembro de resistencia, en el que la cavidad tiene una altura de cavidad (CH) y la altura de cavidad (CH) es mayor que la dimensión del miembro de refuerzo (D).
5. El cable de fibra óptica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, siendo una dimensión menor del cable de fibra óptica (H) de aproximadamente 8 milímetros o menos y una dimensión mayor del cable de fibra óptica (W) de aproximadamente 15 milímetros o menos.
6. El cable de fibra óptica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, teniendo uno del primero o segundo insertos secos una capa comprimible y una capa hinchable en agua.
7. El cable de fibra óptica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el primer inserto seco incluye una capa hinchable en agua, en la que la capa hinchable en agua está orientada hacia fuera en dirección a la cavidad.
8. El cable de fibra óptica de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, estando la al menos una guía de onda óptica en contacto con al menos una porción del primer inserto seco.
9. Un método para fabricar un cable de fibra óptica que incluye las etapas de:
- 35 recuperar una pluralidad de cintas (182) de fibra óptica, comprendiendo cada cinta de fibra óptica por lo menos una fibra (12) óptica;  
  
recuperar un primer inserto (184a) seco;  
  
recuperar un segundo inserto (184b) seco;  
  
recuperar al menos una capa (211) de blindaje para proteger el cable de fibra óptica;
- 40 posicionar la pluralidad de cintas de fibra óptica entre el primer inserto seco y el segundo inserto seco, formando así un núcleo de cable, en el que el primero y segundo insertos secos contienen en sándwich la pluralidad de cintas de fibra óptica en un apilamiento no trenzado, y en el que el apilamiento tiene un exceso de longitud de cinta positivo en un intervalo de 0,6% a 1,5% y tiene un perfil en general ondulado alrededor de un eje neutro del cable para acomodar la longitud de cinta adicional;



aplicar una camisa (188) de cable alrededor del núcleo de cable de manera que el primer inserto seco y el segundo inserto seco acoplan al menos una guía de onda óptica a la camisa de cable.

- 5 10. El método de la reivindicación 9, que incluye además la etapa de proporcionar al menos un miembro de resistencia, en el que el al menos un miembro de resistencia es estirado elásticamente durante una parte de la fabricación, proporcionando de este modo el exceso de longitud de cinta para la pluralidad de cintas de fibra óptica dentro del cable después de que la tensión se haya retirado del al menos un miembro de resistencia.

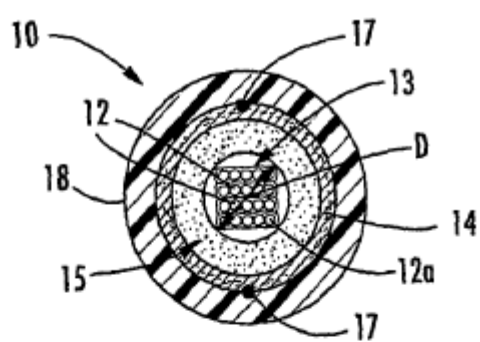


FIG. 1

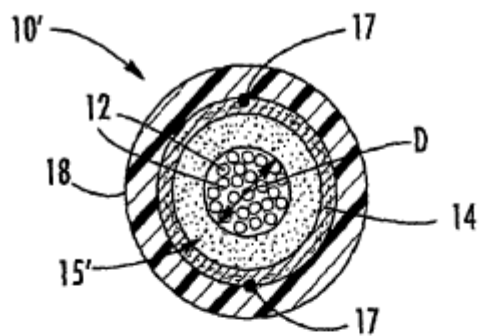


FIG. 1a

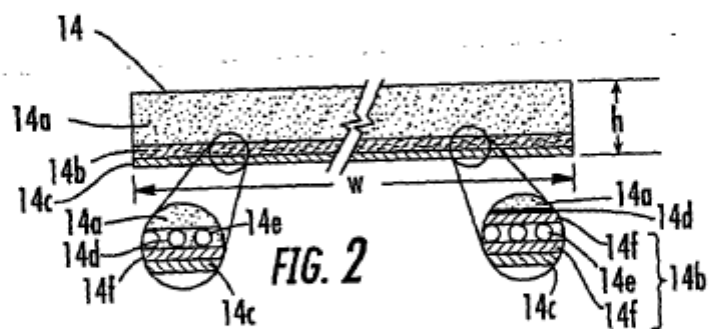


FIG. 2

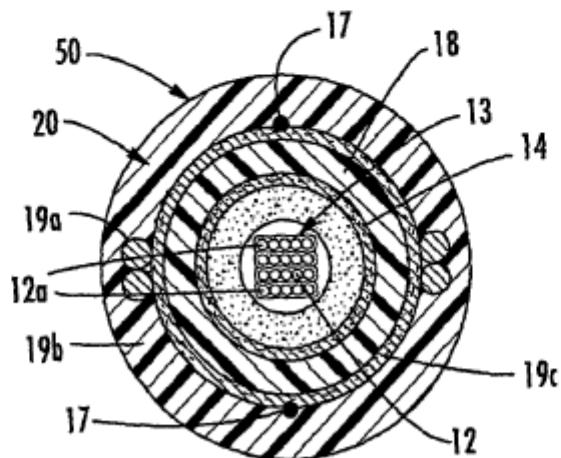


FIG. 5

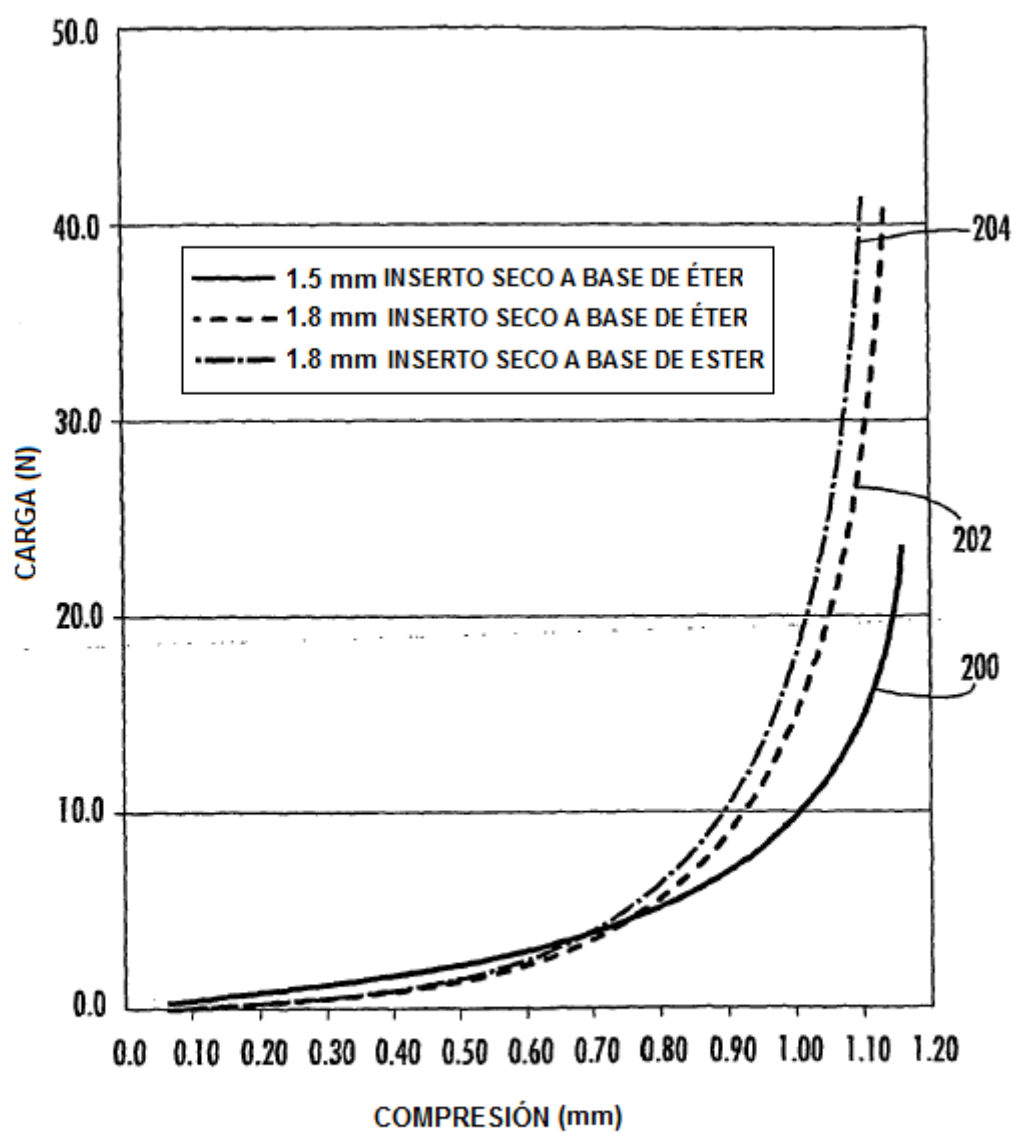
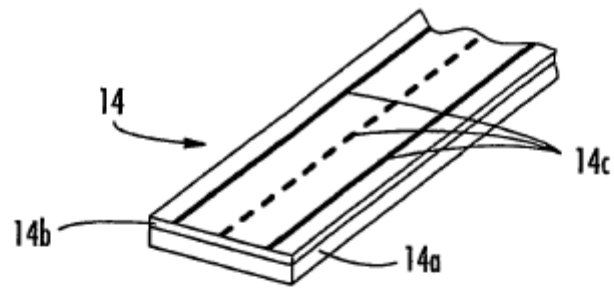
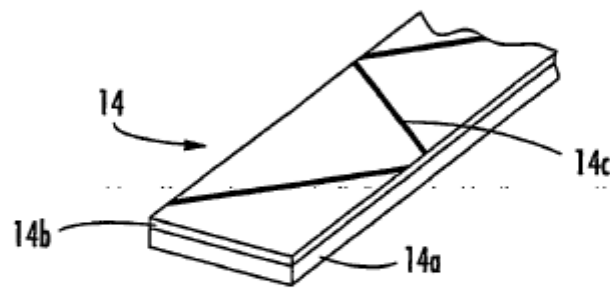


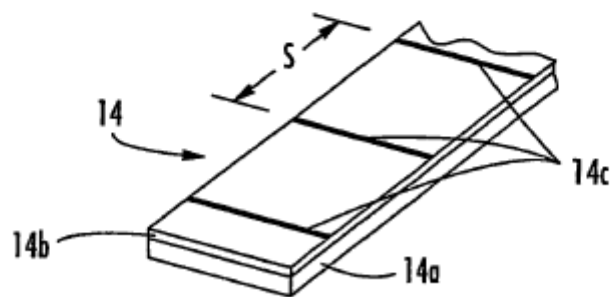
FIG. 2a



**FIG. 2b**



**FIG. 2c**



**FIG. 2d**

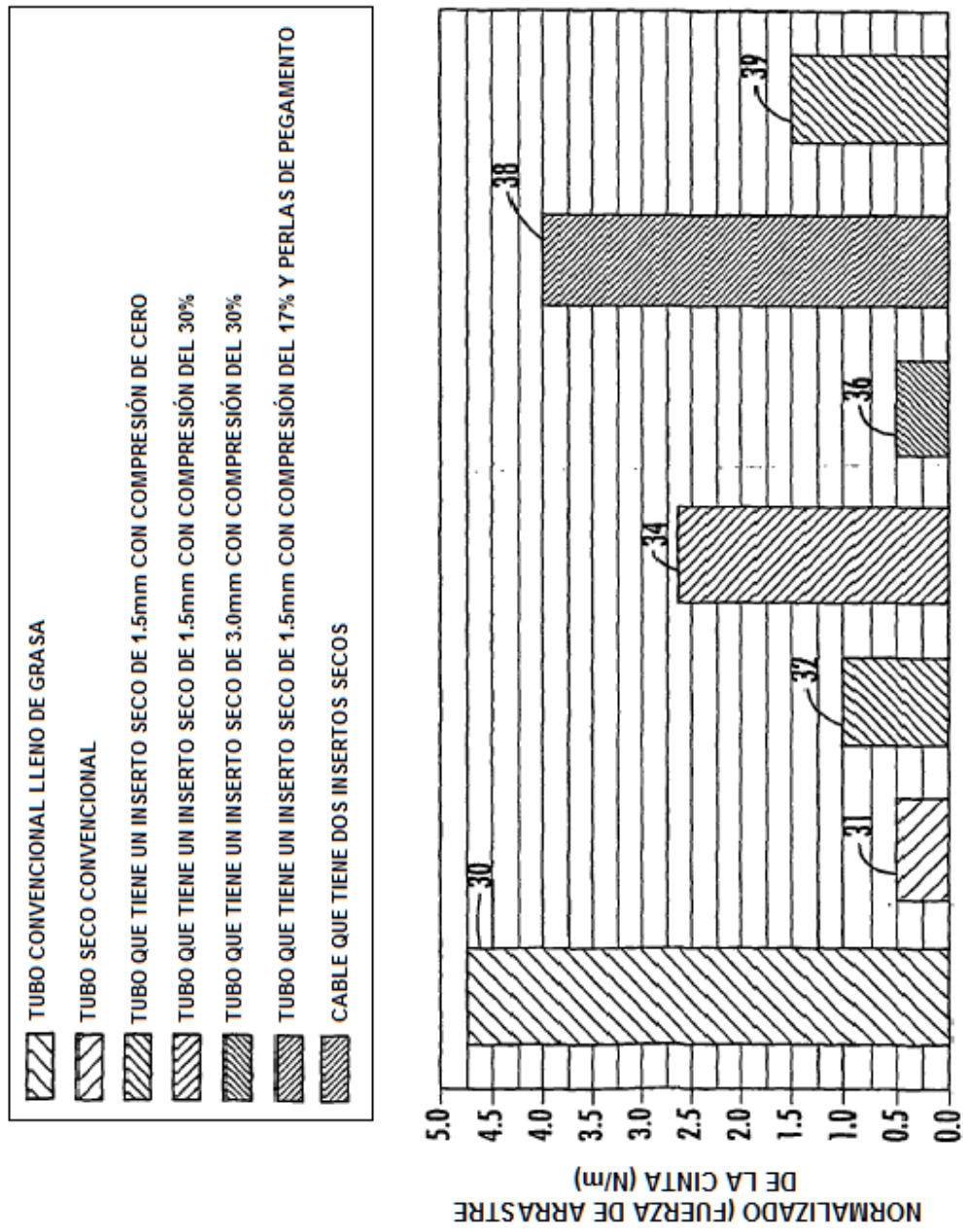


FIG. 3

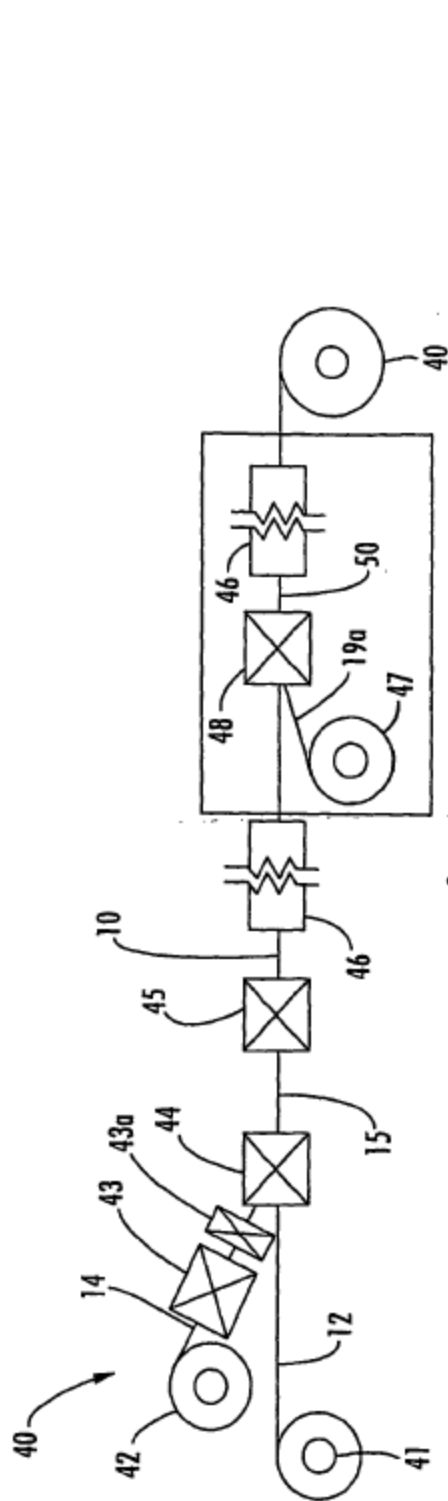


FIG. 4

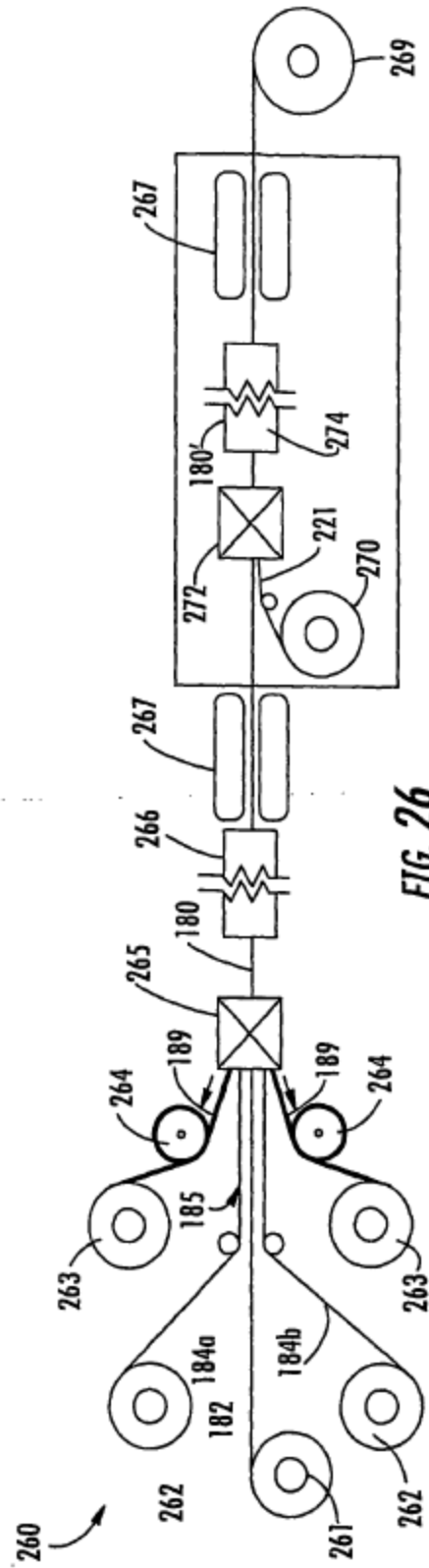


FIG. 26

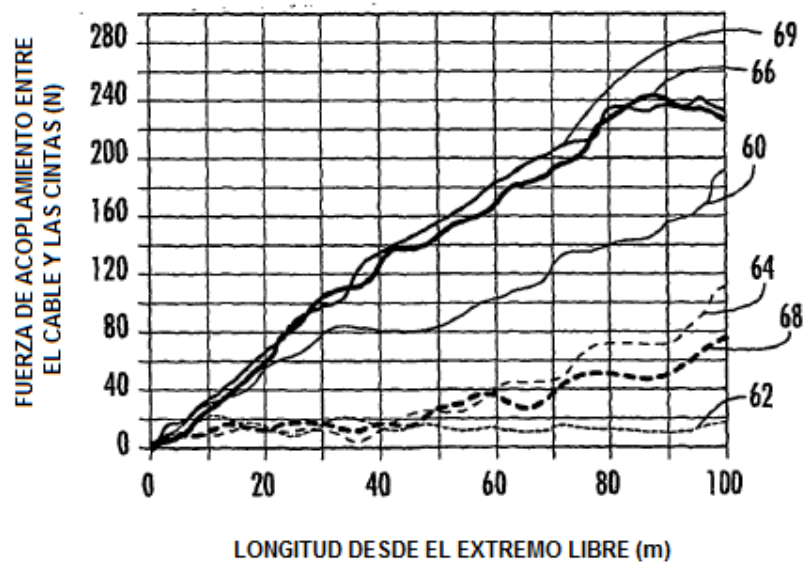
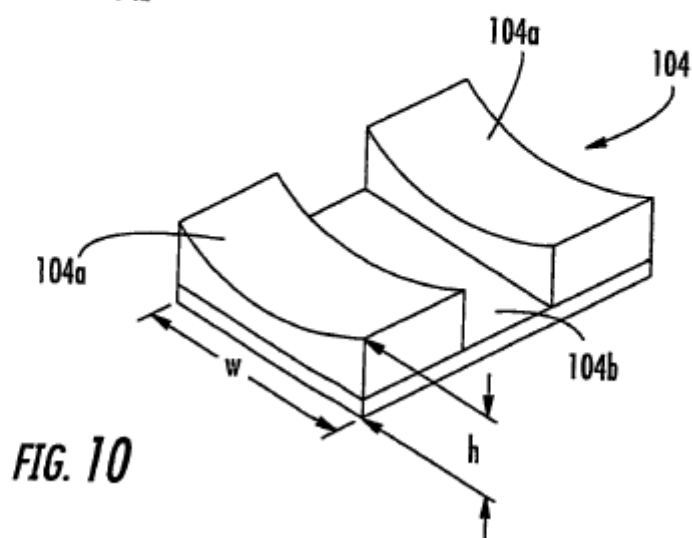
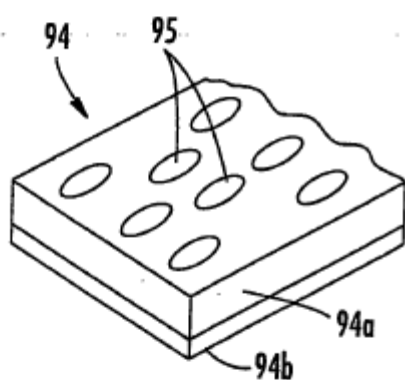
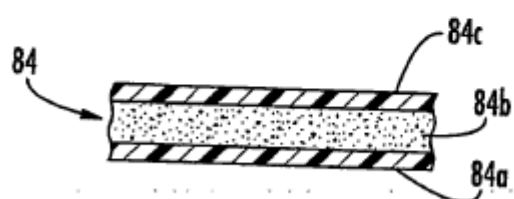
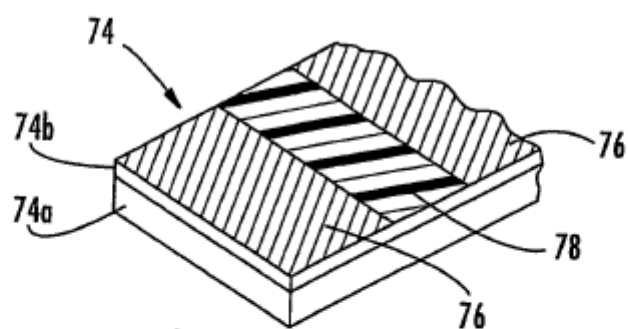
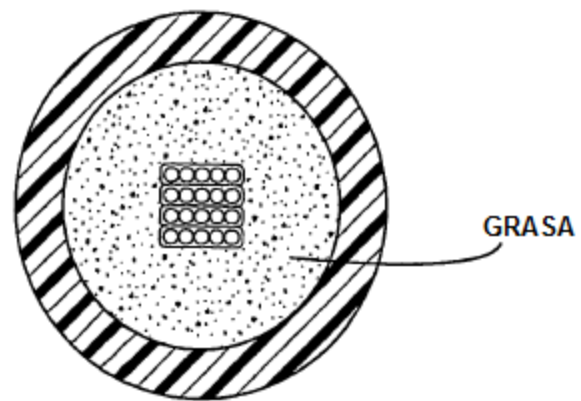


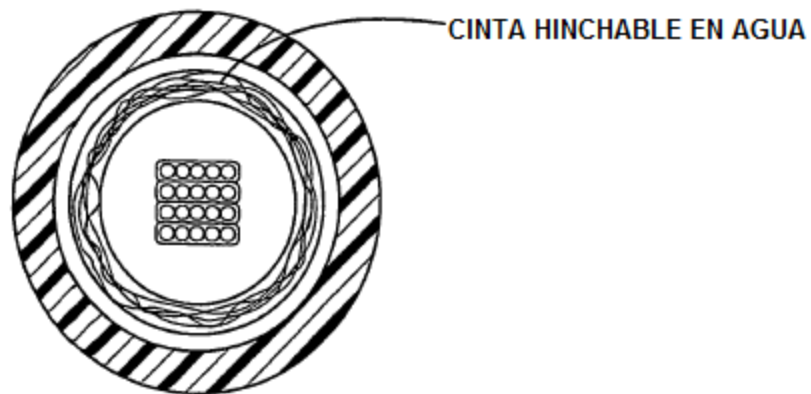
FIG. 6



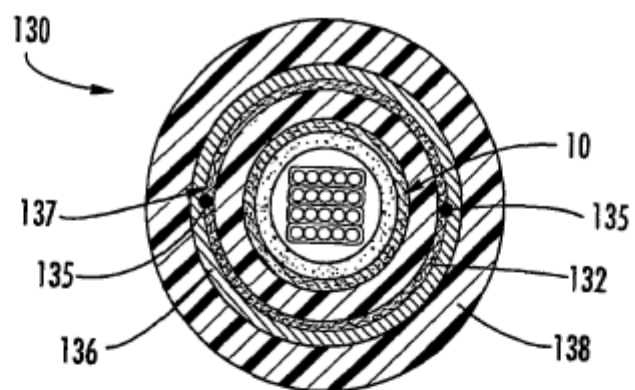




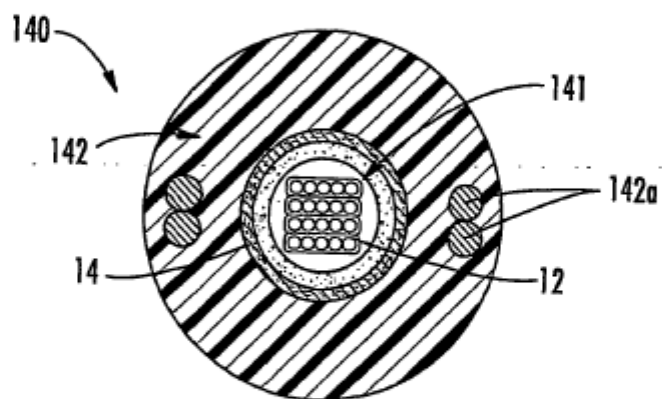
**FIG. 11**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



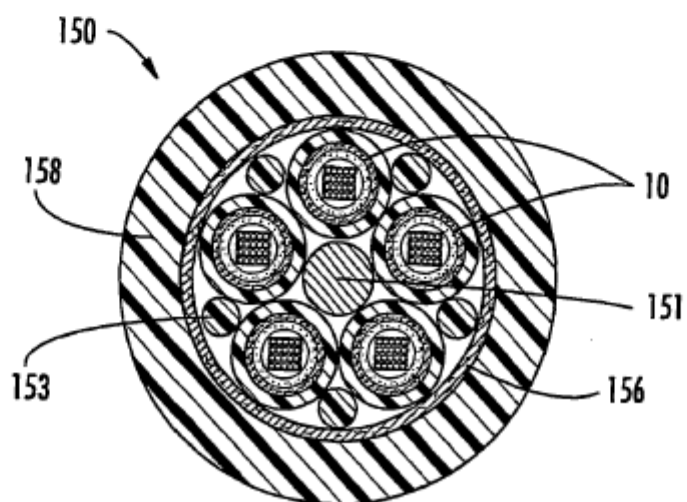
**FIG. 12**



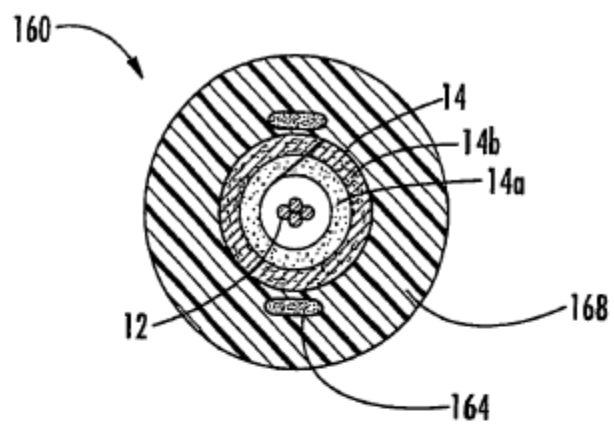
**FIG. 13**



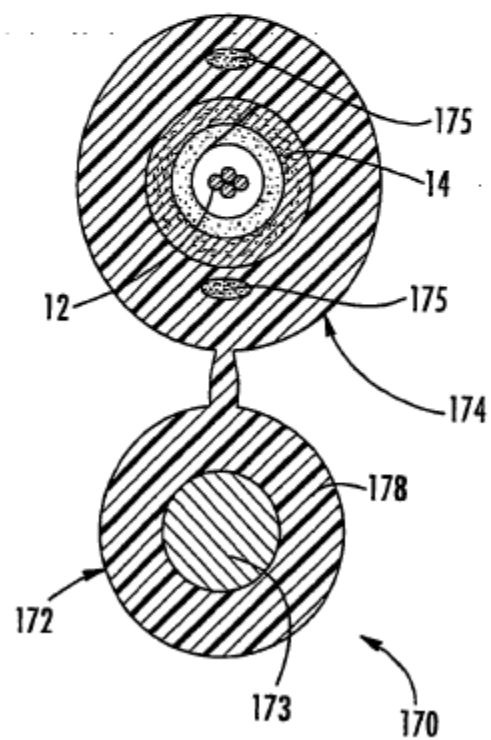
**FIG. 14**



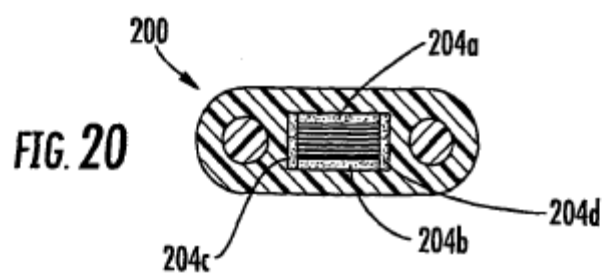
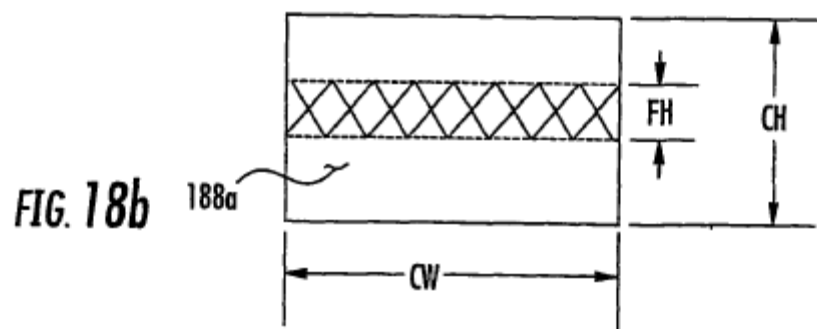
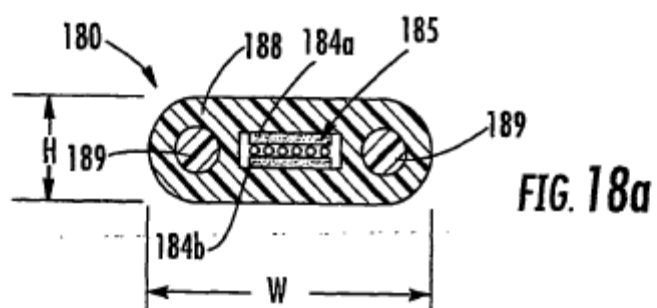
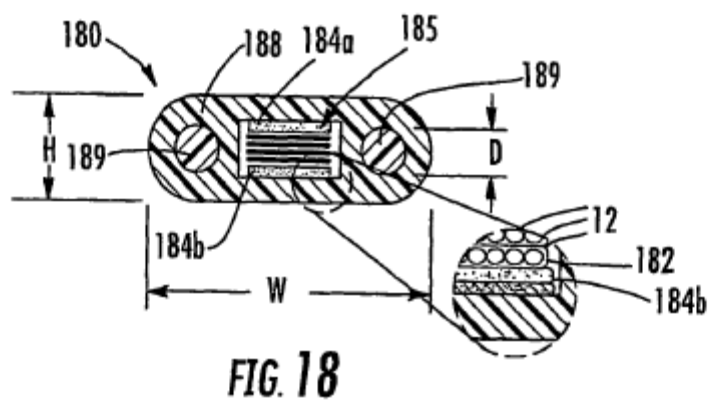
**FIG. 15**

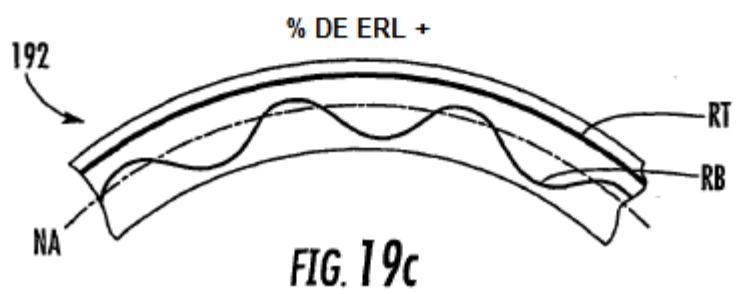
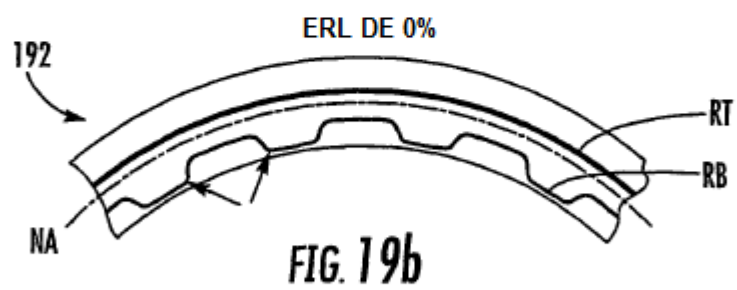
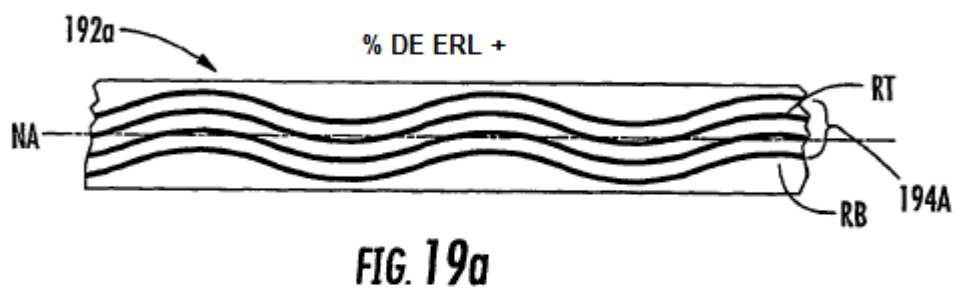
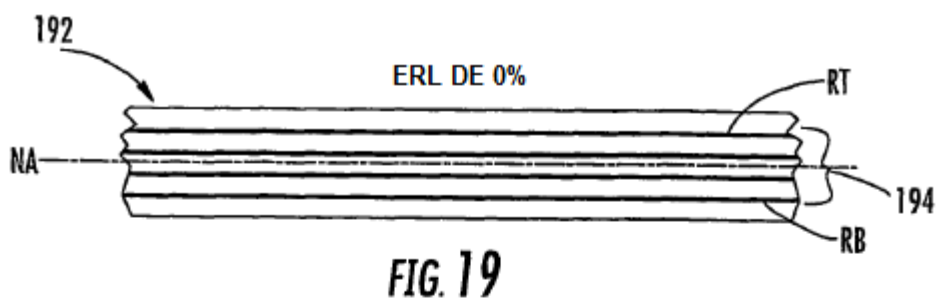


**FIG. 16**



**FIG. 17**





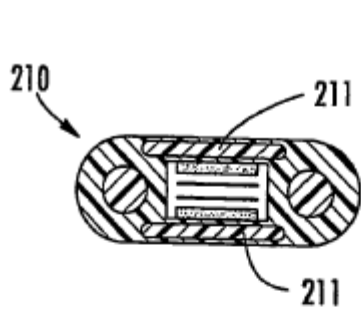


FIG. 21

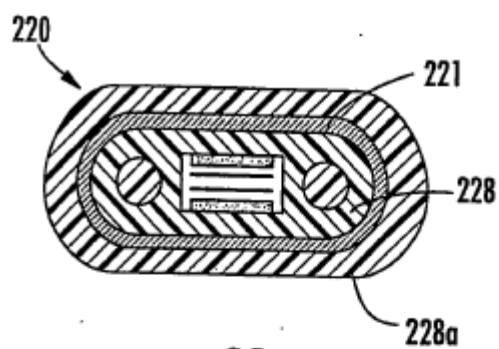


FIG. 22

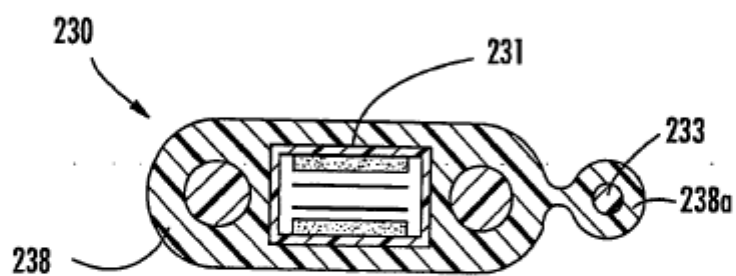


FIG. 23



FIG. 24

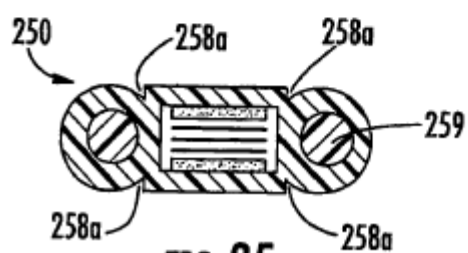


FIG. 25