

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 738 423**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/38** (2006.01)

**G02B 6/44** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.06.2016 PCT/US2016/036800**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.01.2017 WO17014855**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2016 E 16794091 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 3317706**

54 Título: **Conjunto de cable de fibra óptica**

30 Prioridad:

**30.06.2015 US 201562186497 P**

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

**22.01.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HURLEY, WILLIAM CARL;  
MCCOLLOUGH, WILLIAM WELCH;  
PAAP, MARK TRACY;  
ELLIS, TERRY LEE y  
CALDWELL, WILLIAM ERIC**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 738 423 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

Conjunto de cable de fibra óptica

**Antecedentes**

5 La divulgación se refiere de manera general a cables de comunicación ópticos y más particularmente a conjuntos de cable de comunicación óptico que incluyen múltiples subunidades de fibra óptica. El uso de los cables de comunicación ópticos ha aumentado en una amplia variedad de campos de la electrónica y las telecomunicaciones. Los cables de comunicación ópticos contienen o rodean a una o más fibras de comunicación ópticas. El cable proporciona estructura y protección para las fibras ópticas dentro del cable.

10 En el documento US 8.737.786 se dan a conocer cables de comunicación ópticos según los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 11.

**Sumario**

15 Una realización de la divulgación se refiere a un conjunto de cable de comunicación óptico que incluye una cubierta de cable exterior y un primer elemento de resistencia a la tracción rodeado por la cubierta de cable exterior. El conjunto de cable de comunicación óptico también incluye una pluralidad de unidades de transmisión ópticas rodeadas por la cubierta de cable exterior. Cada unidad de transmisión óptica incluye una cubierta interior que define un paso, una pluralidad de elementos de transmisión ópticos alargados ubicados dentro del paso y un segundo elemento de resistencia a la tracción ubicado dentro del paso. El conjunto de cable de comunicación óptico incluye una unidad de bifurcación, y el primer elemento de resistencia a la tracción y las cubiertas interiores de cada una de las unidades de transmisión ópticas están acoplados a la unidad de bifurcación. La pluralidad de elementos de transmisión ópticos alargados y el segundo elemento de resistencia a la tracción se extienden a través de la unidad de bifurcación sin acoplarse a la unidad de bifurcación. El conjunto de cable de comunicación óptico también incluye un conector óptico acoplado a un extremo de cada una de la pluralidad de unidades de transmisión ópticas. Cada conector óptico incluye un cuerpo acoplado al segundo elemento de resistencia a la tracción de la unidad de transmisión óptica, un casquillo acoplado a los elementos de transmisión ópticos alargados de la unidad de transmisión óptica y un resorte ubicado entre el casquillo y el cuerpo. El resorte tiene una fuerza de resorte representativa de la fuerza necesaria para provocar una compresión máxima permitida del resorte. El primer elemento de resistencia a la tracción está ubicado fuera de las cubiertas interiores de las unidades de transmisión ópticas. El conjunto de cable tiene una carga de cable nominal máxima y a la carga de cable nominal máxima, la suma de fuerzas axiales experimentadas por los elementos de transmisión ópticos alargados dentro de cada una de las unidades de transmisión ópticas es mayor de 0,5 N y es menor que la fuerza de resorte.

35 Una divulgación adicional se refiere a un conjunto de cable de comunicación óptico que incluye una cubierta de cable exterior, un primer elemento de resistencia a la tracción rodeado por la cubierta de cable exterior y una pluralidad de subunidades rodeadas por la cubierta de cable exterior. Cada subunidad incluye una cubierta interior que define un paso, una pluralidad de fibras ópticas ubicadas dentro del paso que juntas tienen una rigidez axial y un segundo elemento de resistencia a la tracción ubicado dentro del paso que tiene una rigidez axial. El conjunto de cable de comunicación óptico incluye una unidad de acoplamiento, y la cubierta de cable exterior se aloja dentro de un primer extremo de la unidad de acoplamiento de tal manera que la cubierta de cable exterior termina en la unidad de acoplamiento. Cada una de las subunidades se extiende fuera de un segundo extremo de la unidad de acoplamiento. El primer elemento de resistencia a la tracción y las cubiertas interiores de cada una de las subunidades están acoplados a la unidad de acoplamiento, y la pluralidad de fibras ópticas y el segundo elemento de resistencia a la tracción se extienden a través de la unidad de acoplamiento sin acoplarse a la unidad de acoplamiento. El conjunto de cable de comunicación óptico incluye un conector óptico acoplado a un extremo de cada una de las subunidades. Cada conector óptico incluye un cuerpo acoplado al segundo elemento de resistencia a la tracción de la subunidad, un casquillo acoplado a todas las fibras ópticas de la subunidad y un resorte ubicado entre el casquillo y el cuerpo. El resorte tiene una fuerza de resorte representativa de la fuerza necesaria para provocar una compresión máxima del resorte. El primer elemento de resistencia a la tracción está ubicado fuera de las cubiertas interiores de las subunidades. Cada subunidad tiene una parte de extremo de subunidad ubicada entre la unidad de acoplamiento y el conector óptico acoplado a la subunidad, y la parte de extremo de subunidad tiene una longitud inicial medida entre la unidad de acoplamiento y el conector óptico. Bajo carga axial del conjunto de cable aplicada en la unidad de acoplamiento, cada subunidad experimenta una parte de la carga axial dando como resultado la compresión de la parte de extremo de subunidad, y tanto las fibras ópticas como el segundo elemento de resistencia a la tracción experimentan algo de la parte de la carga axial de la subunidad. Una razón de la rigidez axial del segundo elemento de resistencia a la tracción con respecto a la rigidez axial de las fibras ópticas de cada subunidad es de tal manera que, cuando una disminución de longitud de la parte de extremo de subunidad bajo la carga axial es de entre el 0,1% y el 2,5%, la parte de la carga axial experimentada por las fibras ópticas de la subunidad es mayor de cero y es menor que la fuerza de resorte.

Una realización adicional de la divulgación se refiere a un conjunto de cable de comunicación óptico que incluye una cubierta de cable exterior, un primer elemento de resistencia a la tracción rodeado por la cubierta de cable exterior que tiene una rigidez axial y una pluralidad de subunidades rodeadas por la cubierta de cable exterior. Cada

subunidad incluye una cubierta interior que define un paso, una pluralidad de fibras ópticas ubicadas dentro del paso y un segundo elemento de resistencia a la tracción ubicado dentro del paso. Cada subunidad tiene una rigidez axial. El conjunto de cable de comunicación óptico incluye una unidad de bifurcación. El primer elemento de resistencia a la tracción y las cubiertas interiores de cada subunidad están acoplados a la unidad de bifurcación, y la pluralidad de fibras ópticas y el segundo elemento de resistencia a la tracción de cada subunidad se extienden a través de la unidad de bifurcación sin acoplarse a la unidad de bifurcación. El conjunto de cable de comunicación óptico incluye un conector óptico acoplado a un extremo de cada una de las subunidades. Cada conector óptico incluye un cuerpo acoplado al segundo elemento de resistencia a la tracción de la subunidad, y un casquillo acoplado a todas las fibras ópticas de la subunidad. El conjunto de cable tiene una carga de cable nominal máxima y una rigidez axial total que es la suma de las rigideces axiales de todas las fibras ópticas de todas las subunidades, de los segundos elementos de resistencia de todas las subunidades y del primer elemento de resistencia a la tracción. Bajo carga axial aplicada en la unidad de bifurcación, cada subunidad experimenta una parte de la carga axial que provoca la compresión de una parte de la subunidad ubicada entre la unidad de bifurcación y el conector óptico. La compresión es relativa a la cantidad de carga axial, y tanto las fibras ópticas como el segundo elemento de resistencia a la tracción experimentan algo de la parte de la carga axial de la subunidad. Una razón de la rigidez axial de las subunidades con respecto a la rigidez axial total del conjunto de cable es de tal manera que la compresión de cada subunidad es de entre el 0,1% y el 2,5% de una longitud inicial de la parte de la subunidad entre la unidad de bifurcación y el conector óptico a la carga de cable nominal máxima.

En la siguiente descripción detallada se expondrán características y ventajas adicionales, y en parte resultarán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica a partir de la descripción o se reconocerán mediante la puesta en práctica de las realizaciones tal como se describen en la descripción escrita y las reivindicaciones del presente documento, así como los dibujos adjuntos.

Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son simplemente a modo de ejemplo, y se pretende que proporcionen un resumen o contexto para entender la naturaleza y carácter de las reivindicaciones.

Los dibujos adjuntos se incluyen para proporcionar una comprensión adicional y se incorporan en, y constituyen parte de, esta memoria descriptiva. Los dibujos ilustran una o más realizaciones, y junto con la descripción sirven para explicar los principios y el funcionamiento de las diversas realizaciones.

#### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en perspectiva de un conjunto de cable de fibra óptica según aspectos de la presente divulgación.

La figura 2 es una vista en sección transversal del cable mostrado en la figura 1 según aspectos de la presente divulgación.

La figura 3 es una vista en sección transversal detallada de una subunidad del cable mostrado en la figura 1 según aspectos de la presente divulgación.

La figura 4 es una vista en sección transversal lateral de la unidad de bifurcación mostrada en la figura 1 según aspectos de la presente divulgación.

La figura 5 es una vista en sección transversal lateral de uno de los conectores ópticos mostrados en la figura 1 según aspectos de la presente divulgación.

La figura 6 es una vista lateral esquemática del conjunto de cable de la figura 1 antes de la carga axial según aspectos de la presente divulgación.

La figura 7 es una vista en sección transversal lateral esquemática del conjunto de cable de la figura 1 antes de la carga axial según aspectos de la presente divulgación.

La figura 8 es una vista en sección transversal lateral esquemática del conjunto de cable de la figura 1 bajo carga axial según aspectos de la presente divulgación.

La figura 9 es un gráfico que muestra una relación entre compresión de subunidad y carga axial según aspectos de la presente divulgación.

#### Descripción detallada

Haciendo referencia de manera general a las figuras, se muestran diversas realizaciones de un conjunto de cable de comunicación óptico. En general, el conjunto de cable comentado en el presente documento está configurado para equilibrar o distribuir la carga axial del conjunto de cable entre las fibras ópticas y elementos de resistencia de manera que equilibra varios parámetros de rendimiento del conjunto de cable de fibra óptica. En general, el conjunto de cable comentado en el presente documento permite que tanto los elementos de resistencia a la tracción como las fibras ópticas de las subunidades de cable experimenten alguna parte de la carga axial total aplicada al conjunto de

cable mientras que al mismo tiempo proporciona las características de transmisión óptica deseadas en los conectores ópticos y/o limita el exceso de compresión de las partes de pata de bifurcación de las subunidades bajo carga axial. Tal como se usa en el presente documento, la pata de bifurcación es generalmente la parte de subunidades de fibra óptica ubicada entre la unidad de bifurcación y el conector óptico.

5 Además, los conjuntos de cable comentados en el presente documento están configurados para proporcionar una indicación de que la carga axial sobre el conjunto de cable ha superado la carga axial permitida antes de que la carga axial alcance el nivel que provocará problemas de transmisión en el conector óptico. En diversas realizaciones, el conjunto de cable comentado en el presente documento proporciona estas ventajas al tiempo que proporciona un diseño de cable que reduce la cantidad de longitud de fibra óptica en exceso ("EFL") necesaria dentro del cable, y por tanto, reduce la cantidad de fibra óptica necesaria para un conjunto particular. En diversas realizaciones, la disminución de la EFL permite que los conjuntos de cable comentados en el presente documento tengan un diámetro de cable exterior reducido en comparación con otros conjuntos de cable convencionales que tienen el mismo número total de fibras ópticas.

15 En general, el conjunto de cable comentado en el presente documento incluye un cable óptico que tiene una cubierta de cable exterior que rodea a elementos de resistencia a la tracción primeros o exteriores y una pluralidad de subunidades de fibra óptica. Las subunidades de fibra óptica incluyen, cada una, una cubierta que rodea a una pluralidad de elementos de transmisión ópticos alargados (por ejemplo, fibras ópticas) y un elemento de resistencia a la tracción segundo o interior. En una unidad de bifurcación, la cubierta de cable exterior y los primeros elementos de resistencia a la tracción están acoplados a la unidad de bifurcación, y las subunidades se extienden a través de la unidad de bifurcación para conectarlas aguas abajo de la unidad de bifurcación. En diversas realizaciones, las cubiertas interiores de la subunidad están acopladas a la unidad de bifurcación, pero las fibras ópticas de la subunidad y los elementos de resistencia interiores pasan a través de la unidad de bifurcación sin unirse a la unidad de bifurcación. Al evitar la unión de las fibras ópticas y los elementos de resistencia interiores a la unidad de bifurcación, se evita la necesidad de abrir cada subunidad dentro de la unidad de bifurcación.

25 Sin embargo, este tipo de acoplamiento de unidad de bifurcación también expone las patas de bifurcación de subunidad a carga axial aplicada al conjunto de cable (por ejemplo, carga axial aplicada a la unidad de bifurcación). Para abordar la carga de la pata de bifurcación, las fibras ópticas y los elementos de resistencia a la tracción interiores dentro de las subunidades están equilibrados para proporcionar diversas características de distribución de carga tal como se comenta en el presente documento. Por ejemplo, en diversas realizaciones, las longitudes de las fibras ópticas dentro de una subunidad son sustancialmente iguales (por ejemplo, diferencia de longitud de menos del 0,05%) a la longitud de los elementos de resistencia a la tracción interiores. En esta disposición, cuando el conjunto de cable se expone a carga axial, tanto los elementos de resistencia a la tracción interiores como las fibras ópticas de la subunidad experimentan algo de la carga axial. Esto contrasta con muchos diseños de conjunto de cable convencionales que o bien usan bloqueo de fibra en la unidad de bifurcación para aislar las fibras ópticas dentro de las patas de bifurcación frente a la carga axial o bien usan longitud de fibra óptica en exceso para garantizar que la totalidad de la carga axial se soporta por los elementos de resistencia a la tracción interiores.

40 Tal como se explica en más detalle a continuación, el diseño de conjunto de cable comentado en el presente documento equilibra el tamaño, número y/o rigidez axial de los elementos de resistencia a la tracción interiores y de las fibras ópticas de cada subunidad de tal manera que la carga axial del cable se distribuye entre esos dos componentes de cable de una manera que tanto limita/previene el exceso de compresión de las patas de bifurcación como también limita/previene el fallo de conector óptico basado en carga a la carga de cable nominal máxima. Además, el diseño de conjunto de cable comentado en el presente documento equilibra el tamaño, número y/o rigidez axial de los elementos de resistencia a la tracción interiores y de las fibras ópticas de cada subunidad de tal manera que se produce exceso de compresión de las patas de bifurcación (lo cual puede detectar visualmente un instalador, por ejemplo) antes que el fallo de conector óptico basado en carga como manera de proporcionar una indicación fácilmente visible de que el conjunto de cable está experimentando demasiada carga axial. Se cree que esto proporciona una ventaja porque es relativamente difícil determinar si un conector óptico está experimentando fallo basado en tensión y normalmente requiere medir la transmisión óptica a través del conector. Por consiguiente, el diseño de conjunto de cable comentado en el presente documento proporciona una ventaja que permite al instalador determinar fácilmente que el conjunto de cable está experimentando demasiada carga axial al observar visualmente el exceso de compresión de la pata de bifurcación antes de que la carga axial se vuelva lo suficientemente alta como para que no puede mantenerse una buena conexión óptica dentro del conector óptico. En el presente documento se comentan otras estructuras, funciones y ventajas específicas de conjunto de cable.

55 Haciendo referencia a la figura 1, se muestra un cable de comunicación óptico, mostrado como cable 10, tras la bifurcación y conectorización, formando un conjunto de cable de comunicación óptico, mostrado como conjunto 12 de cable. El conjunto 12 de cable incluye una unidad de acoplamiento, mostrada como unidad 14 de bifurcación. En general, la unidad 14 de bifurcación se monta o acopla a un cable 10 permitiendo acceder a fibras ópticas mantenidas dentro de unidades de transmisión ópticas, mostradas como subunidades 16, para la conectorización y el acoplamiento a equipos. Específicamente, el cable 10 se aoja en la unidad 14 de bifurcación, y uno o más componentes del cable 10 se acoplan a una unidad 14 de bifurcación. Tal como se explicará en más detalle a continuación, en la unidad 14 de bifurcación se retira una parte aguas abajo o de extremo de la cubierta exterior del cable 10, y las subunidades 16 de fibra óptica se extienden a través y fuera de la unidad 14 de bifurcación formando

patas 18 de bifurcación. En general, las patas 18 de bifurcación son las partes de extremo de las subunidades 16 que están ubicadas entre la unidad 14 de bifurcación y los conectores 20. Tal como se explica en más detalle a continuación con respecto a la figura 5, los conectores ópticos, mostrados como conectores 20 de fibra óptica, se acoplan a los extremos aguas debajo de las subunidades 16. En general, cada conector 20 de fibra óptica se acopla a todas las fibras ópticas de la subunidad 16 particular a la que está unido, y el conector 20 facilita la conexión de las fibras ópticas a los diversos equipos de centro de datos o a otros cables de fibra óptica a los que da servicio el cable 10.

Debe entenderse que, tal como se usa en el presente documento, una pata de bifurcación es la parte de la subunidad 16 que se extiende desde la unidad 14 de bifurcación que termina en un conector 20 de fibra óptica. En algunas de tales realizaciones, el conjunto 12 de cable usa cada subunidad 16 y su cubierta correspondiente como pata de bifurcación. Por tanto, en algunas de tales realizaciones, no se necesita instalar tubos de bifurcación independientes para soportar fibras ópticas de las subunidades porque la cubierta de cada subunidad es lo suficientemente robusta como para proporcionar la protección de fibras ópticas de la subunidad tras la retirada de la cubierta de cable exterior del cable 10. Además, en tales realizaciones, las cubiertas de las subunidades 16 son lo suficientemente robustas como para soportar el acoplamiento de conectores 20.

Haciendo referencia a la figura 2, se muestra una vista en sección transversal del cable 10 tomada en perpendicular al eje longitudinal del cable 10 en una ubicación aguas arriba de la unidad 14 de bifurcación. El cable 10 incluye una cubierta o capa de cable exterior, mostrada como cuerpo de cable o cubierta 22 de cable, que tiene una superficie 24 interior que define una cavidad o paso interior, mostrado como orificio 26 central. Tal como se entenderá generalmente, la superficie 24 interior de la cubierta 22 define una zona o región interna dentro de la cual están ubicados los diversos componentes de cable comentados a continuación.

Tal como se indicó anteriormente, el cable 10 incluye una pluralidad de subunidades 16 que están ubicadas dentro del orificio 26 central y rodeadas por la cubierta 22 de cable. Tal como se muestra en la figura 3, cada subunidad 16 incluye una cubierta interior, mostrada como funda 28 de subunidad, que define un paso dentro de cada funda. Cada subunidad 16 incluye una pluralidad de elementos de transmisión ópticos, mostrados como fibras 30 ópticas ubicadas dentro de la funda 28. En diversas realizaciones, cada subunidad 16 puede incluir diversos números de fibras ópticas, y en realizaciones específicas pueden incluir ocho o doce fibras ópticas. De manera similar, el cable 10 puede incluir diversos números de subunidades 16 para proporcionar el número deseado de fibras ópticas dentro del cable en su conjunto. En diversas realizaciones, el cable 10 puede incluir 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, etc. subunidades 16. En una realización específica, el cable 10 incluye al menos tres subunidades 16 y cada subunidad incluye al menos ocho fibras 30 ópticas. En otra realización, el cable 10 incluye 96 o menos fibras 30 ópticas distribuidas entre 12 o menos subunidades 16.

El cable 10 también incluye una pluralidad de elementos de resistencia a la tracción. En particular, el cable 10 incluye uno o más primeros elementos de resistencia a la tracción, mostrados como hilo 32 de resistencia exterior, y cada subunidad 16 incluye uno o más segundos elementos de resistencia a la tracción, mostrados como hilo 34 de resistencia interior, ubicados dentro de la funda 28 de subunidad. Tal como se explica en más detalle a continuación, el hilo 32 de resistencia exterior está acoplado a la unidad 14 de bifurcación, y el hilo 34 de resistencia interior de cada subunidad está acoplado al conector 20 asociado con una subunidad particular para proporcionar las propiedades de distribución de carga comentadas en el presente documento.

En diversas realizaciones, el hilo 34 de resistencia interior y las fibras 30 ópticas dentro de cada subunidad 16 tienen una longitud sustancialmente igual (por ejemplo, longitudes dentro del 0,05% unas con respecto a otras). En esta disposición, y a diferencia de muchos diseños de cable, la carga axial del cable 10 en la unidad 14 de bifurcación se experimenta tanto por el hilo 34 de resistencia interior como por las fibras 30 ópticas, pero el tamaño, número y/o rigidez axial del hilo 34 de resistencia interior y las fibras 30 ópticas se equilibran dentro de cada subunidad 16 para limitar o prevenir un fallo por compresión de la pata de bifurcación y fallo por compresión del conector 20 óptico. En diversas realizaciones, el hilo 32 de resistencia exterior y/o el hilo 34 de resistencia interior pueden ser un elemento de resistencia a la tracción alargado adecuado, y en realizaciones específicas, el hilo 32 de resistencia exterior y/o el hilo 34 de resistencia interior pueden ser un hilo de resistencia de aramida. En otras realizaciones, el hilo 32 de resistencia exterior y/o el hilo 34 de resistencia interior pueden ser cualquier material de resistencia a la tracción adecuado tal como hilo de fibra de vidrio, hilo de poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) comercializado con la marca Zylon, fibra de polímero de cristal líquido de poliéster-poliarilato comercializada con el nombre comercial Vectran, u otros hilos de alta resistencia a la tracción.

El cable 10 puede incluir un grupo 36 central del hilo 32 de resistencia exterior, y las subunidades pueden estar posicionadas para rodear circunferencialmente al grupo 36 central en una o más capas de subunidades 16. En diversas realizaciones, las subunidades 16 están dispuestas en un patrón envuelto, tal como un patrón de disposición de hebras en SZ o un patrón helicoidal, alrededor del grupo 36 central de hilo de resistencia. El cable 10 también puede incluir uno o más hilos 32 de resistencia exterior adicionales posicionados radialmente exteriores al grupo 36 central de hilo de resistencia. En otras realizaciones, el cable 10 puede incluir otros elementos de resistencia tales como un vástago de plástico reforzado con vidrio (GRP) o alambre de metal.

Tal como se comenta en más detalle a continuación, el cable 10 tiene una carga de cable nominal máxima que es la carga axial máxima (por ejemplo, carga axial aplicada a la unidad 14 de bifurcación) que soportará el cable 10 al tiempo que todavía proporciona un rendimiento satisfactorio. En diversas realizaciones, la carga de cable nominal máxima del cable 10 se define en normas de la industria, ICEA s-83-596-2011, titulada Standards for Indoor Optical Fiber Cables (normas para cables de fibra óptica de interior), y/o GR-409 CORE, titulada Generic Requirements for Premises Fiber Optical Cable (requisitos generales para instalaciones de cable de fibra óptica), y puede determinarse mediante los procedimientos de ensayo de fibra óptica a los que se hace referencia en las mismas. En diversas realizaciones, el cable 10 tiene una carga de cable nominal máxima de entre 50 lbs. y 350 lbs. En realizaciones específicas, el cable 10 tiene una carga de cable nominal máximas de 300 lbs., 150 lbs. o 100 lbs. o cualquier otra carga de cable que pueda especificarse.

Haciendo referencia a la figura 4, se muestra una vista en sección transversal de la unidad 14 de bifurcación. En general, la unidad 14 de bifurcación incluye un cuerpo exterior o carcasa 40 que define un canal 42 central. Para acoplar la unidad 14 de bifurcación al cable 10, se retira una parte de la cubierta 22 de cable exponiendo las subunidades 16, y las subunidades 16 se extienden a través y fuera de la unidad 14 de bifurcación. Un agente 44 de acoplamiento se posiciona dentro del canal 42 central de tal manera que el hilo 32 de resistencia exterior y las superficies exteriores de las fundas 28 de subunidad se acoplan juntos a la unidad 14 de bifurcación. El agente 44 de acoplamiento puede ser cualquier material adhesivo adecuado incluyendo material epoxídico o adhesivo de RTV. En esta realización, las fundas 28 de subunidad se dejan intactas de tal manera que las fibras 30 ópticas y el hilo 32 de resistencia a la tracción interior no se acoplan junto con la unidad 14 de bifurcación permitiendo que estos componentes se extiendan a través de la unidad 14 de bifurcación hacia los conectores 20 ópticos no acoplados a la unidad 14 de bifurcación. En esta disposición, en el lado 46 aguas arriba de la unidad 14 de bifurcación, el cable 10 está intacto de tal manera que la superficie exterior de la cubierta 22 define la superficie exterior del conjunto de cable en el lado 46 aguas arriba. En el lado 48 aguas abajo del tapón 14 de bifurcación, la cubierta 22 de cable se ha retirado exponiendo cada subunidad 16. En esta disposición, dado que las fundas 28 de subunidad se dejan intactas de tal manera que las subunidades 16 se extienden a través de la unidad 14 de bifurcación, las superficies exteriores de las fundas 28 de subunidad definen las superficies exteriores del conjunto 12 de cable en el lado 48 aguas abajo de la unidad 14 de bifurcación.

Haciendo referencia a la figura 5, se muestra una vista en sección transversal esquemática de uno de los conectores 20 ópticos ubicados en el extremo aguas debajo de una de las subunidades 16 según una realización a modo de ejemplo. El conector 20 óptico incluye un cuerpo 50 de conector, un casquillo 52 y un resorte 54. El cuerpo 50 de conector se aloja al menos parcialmente dentro de la funda 28 de subunidad, y las hebras 34 de hilo de resistencia interiores se acoplan (por ejemplo, con una banda de engarce, con un material epoxídico u otro adhesivo) al cuerpo 50 de conector. Las fibras 30 ópticas de la subunidad (representadas esquemáticamente como una única fibra 30 en la figura 5) están todas ellas conectadas al casquillo 52.

El casquillo 52 es una estructura que soporta el extremo de las fibras 30 ópticas para realizar una conexión óptica con otro dispositivo óptico o cable de fibra óptica. En tales conexiones, una cara aguas abajo pulida de la fibra 30 óptica está rodeada por el casquillo 52 y hace tope con la cara de un dispositivo o fibra óptica aguas abajo. Tal como se entenderá, con el fin de que la conexión en el casquillo 52 funcione de manera apropiada, la cantidad de presión entre las caras opuestas de las fibras 30 ópticas y las fibras aguas abajo se mantiene dentro de un intervalo controlado con precisión. Para facilitar el control de esta conexión, el conector 20 incluye un resorte 54 ubicado entre el casquillo 52 y el cuerpo 50. En general, el resorte 54 proporciona una fuerza para mantener el intervalo de presión deseado en la superficie de contacto entre las fibras 30 ópticas y las fibras aguas abajo, aunque la carga axial, representada por  $T_1$ , experimentada por la subunidad 16 varíe a medida que se aplican cargas axiales variables al conjunto 12 de cable.

La presión proporcionada por el resorte 54 puede describirse basándose en la fuerza de resorte del resorte 54. Tal como se usa en el presente documento, la fuerza de resorte del resorte 54 es la cantidad de fuerza necesaria para provocar la compresión máxima permitida del resorte 54 que todavía permite que el casquillo 52 realice la conexión óptica deseada con la fibra óptica aguas abajo. Si la carga axial sobre las fibras ópticas supera esta fuerza de resorte máxima permitida, la transmisión de la señal óptica desde las fibras 30 ópticas hasta las fibras aguas abajo a través de los conectores 20 disminuye por debajo de los límites de transmisión satisfactorios. En diversas realizaciones, la fuerza de resorte del resorte 54 es mayor de 5 Newton (N), y en realizaciones específicas, es de entre 7 N y 10 N, y más específicamente es de entre 8 N y 9,8 N.

En diversas realizaciones, dado que la disposición de conjunto de cable comentada en el presente documento permite que las fibras 30 ópticas experimenten algo de la carga axial experimentada por el conjunto 12 de cable, las subunidades 16 están estructuradas para limitar o prevenir que la carga axial experimentada por las fibras 30 ópticas supere la fuerza de resorte del resorte 54. Por tanto, las subunidades 16 están estructuradas para limitar o prevenir el fallo del conector 20 mediante el exceso de compresión del resorte 54. Como ejemplo, la figura 5 muestra la carga axial total experimentada por una subunidad 16 particular, como  $T_1$ . Dado que la carga axial  $T_1$  se soporta tanto por las fibras 30 ópticas como por los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores,  $T_1$  se distribuye entre ambos tipos de componentes de subunidad, de tal manera que las fibras 30 ópticas experimentan  $T_1'$  (que es una fracción de  $T_1$ ), y los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores experimentan  $T_1''$  (que es la fracción restante de  $T_1$ ).

En diversas realizaciones, los dos componentes de soporte de carga primarios de cada subunidad, las fibras 30 ópticas y los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores, tienen tamaños, números y/o propiedades de material de tal manera que cuando el conjunto 12 de cable experimenta su carga de cable nominal máxima, la suma total de fuerzas axiales experimentadas por todas las fibras 30 ópticas dentro de una subunidad 16,  $T_1'$ , es mayor de 5  
 5 cero pero es menor que la fuerza de resorte del resorte 54. Esto garantiza que a la carga de cable nominal máxima, no se produce fallo basado en compresión de los conectores 20 ópticos. En una realización específica, las fibras 30 ópticas y los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores dentro de cada subunidad 16 tienen tamaños, números y/o propiedades de material de tal manera que cuando el conjunto 12 de cable experimenta su carga de cable nominal máxima, la suma total de fuerzas axiales experimentadas por todas las fibras 30 ópticas dentro de una  
 10 subunidad 16,  $T_1'$ , es mayor de 0,5 N pero es menor que la fuerza de resorte del resorte 54. Por tanto, en los diseños de conjunto de cable comentados en el presente documento, las fibras 30 ópticas y el hilo 34 de resistencia a la tracción interior están equilibrados de tal manera que el conector 20 óptico mantiene la conexión óptica deseada a la carga de cable nominal máxima al tiempo que también permite que las fibras 30 ópticas experimenten una parte de la carga axial experimentada por el conjunto 12 de cable.

Haciendo referencia a las figuras 6-8, además de limitar o prevenir la compresión del resorte 54, el conjunto 12 de cable y las subunidades 16 comentados en el presente documento están configurados para limitar la cantidad de compresión experimentada por la parte de las subunidades 16 que forman las patas 18 de bifurcación. La figura 6 muestra una vista esquemática del conjunto 12 de cable que representa ambos extremos conectorizados del conjunto. La figura 7 muestra una vista en sección transversal lateral esquemática del conjunto 12 de cable. Debe  
 15 entenderse que por motivos de claridad las figuras 6-8 representan una única subunidad 16 que se extiende desde las unidades 14 de bifurcación. Sin embargo, tal como se comentó anteriormente, el cable 10 incluye una pluralidad de subunidades 16 que están configuradas, cada una, tal como se muestra y se describe en las figuras 6-8.

Tal como se muestra esquemáticamente en la figura 7, el elemento 32 de resistencia a la tracción exterior está acoplado en ambos extremos a las unidades 14 de bifurcación, y el elemento 34 de resistencia a la tracción interior está acoplado en ambos extremos al conector 20 óptico. Tal como se muestra en la figura 6, sin carga axial, el conjunto 12 de cable tiene una longitud total  $L_1$  medida entre conectores 20 ópticos opuestos ubicados en extremos opuestos de una de las subunidades 16. El cable 10 y las unidades 14 de bifurcación tienen una longitud total,  $L_2$ , medida entre caras opuestas de las unidades 14 de bifurcación, y cada pata 18 de bifurcación tiene una longitud,  $L_3$ , medida entre el extremo del conector 20 óptico y la unidad 14 de bifurcación.

Tal como se muestra en la figura 8, a medida que se carga el conjunto 12 de cable en la dirección axial (por ejemplo, carga axial aplicada a la unidad 14 de bifurcación), el conjunto 12 de cable experimenta carga, mostrada como  $T_2$ . Tal como se explicará en más detalle a continuación,  $T_2$  está relacionado con  $T_1$  mostrado en la figura 5, ya que  $T_1$  es la parte de  $T_2$  que experimenta cada subunidad cuando el conjunto de cable experimenta carga,  $T_2$ . Tal como se muestra en la figura 8, bajo carga axial  $T_2$ , el conjunto 12 de cable tiene una longitud total  $L_1$ , el cable 10 y las  
 25 unidades 14 de bifurcación tienen una longitud total,  $L_4$ , y cada pata 18 de bifurcación tiene una longitud,  $L_5$ . Bajo este tipo de carga axial la longitud total,  $L_1$ , permanece inalterada. Sin embargo, bajo la carga axial  $T_2$ , el cable 10 se estira de tal manera que  $L_4$  es mayor que  $L_2$ , pero a la inversa, las subunidades 16 se comprimen (por ejemplo, disminución de la longitud), de tal manera que  $L_5$  es menor que  $L_3$ .

Tal como se muestra en la figura 8, si la compresión de la subunidad 16 alcanza un determinado nivel, las subunidades 16 pueden desarrollar un aspecto doblado u ondulado. La cantidad de fuerza axial  $T_2$  que debe experimentar el conjunto 12 de cable con el fin de generar el aspecto doblado varía basándose en la estructura de un diseño de cable particular (por ejemplo, grosor de funda de subunidad, número de fibras ópticas por conector, grosor de cubierta de cable, número total fibras ópticas en el cable, el patrón de disposición de hebras, el número de elementos de resistencia interiores, el número de elementos de resistencia exteriores, las propiedades de material de los componentes de cable, etc.). Sin embargo, en general, el aspecto doblado está relacionado con la cantidad de compresión que experimenta la subunidad 16 bajo carga axial, representada por  $L_3 - L_5$ , y también está relacionado con el porcentaje de compresión de la subunidad 16 bajo carga axial, representado por  $(L_3-L_5)/L_5*100$ .

A modo de ejemplo, la figura 9 muestra un gráfico de carga axial de una única subunidad en Newton frente a la compresión de subunidad en milímetros. Tal como se muestra, la compresión de la subunidad 16 aumenta a medida que aumenta la carga axial. Par la subunidad de cable particular mostrada en la figura 9, la subunidad se dobló o pareció "ondulada" a una carga axial de 14 Newton mostrado en el punto 60. La subunidad 16 sometida a prueba en la figura 9 incluía 12 fibras 30 ópticas y tenía una funda 28 de subunidad con un diámetro exterior de 2,0 mm y un grosor radial de 0,3 mm. En diversas realizaciones, el diámetro de la funda 28 de subunidad es de entre 1,5 mm y 4,0 mm, y más específicamente es de entre 1,7 mm y 3,3 mm. En diversas realizaciones, el grosor de pared radial promedio de la funda 28 de subunidad es de entre 0,2 mm y 0,7 mm, y más específicamente es de entre 0,3 mm y 0,6 mm.

En diversas realizaciones, el conjunto 12 de cable está configurado de tal manera que la compresión de subunidad, mostrada como  $L_3-L_5$ , se mantiene dentro de un intervalo de umbral predeterminado cuando  $T_2$  es igual a la carga de cable nominal máxima. En diversas realizaciones, el conjunto 12 de cable está configurado de tal manera que la compresión de subunidad en porcentaje, mostrada como  $(L_3-L_5)/L_5*100$ , es de entre el 0,1% y el 2,5% cuando  $T_2$  está a la carga de cable nominal máxima. En otras realizaciones, el conjunto 12 de cable está configurado de tal  
 55 60

manera que la compresión de subunidad, mostrada como L3-L5, es de entre 1 mm y 15 mm cuando  $T_2$  está a la carga de cable nominal máxima. En diversas realizaciones, diseñando el conjunto de cable para cumplir con estos intervalos de compresión de subunidad, las subunidades 16 no mostrarán el aspecto doblado a la carga de cable nominal máxima. En diversas realizaciones, el número y tipo de fibras 30 ópticas y de elementos 34 de resistencia a la tracción interiores dentro de cada subunidad 16 se seleccionan de tal manera que las subunidades 16 experimentan compresión de subunidad dentro de los intervalos mostrados anteriormente cuando el conjunto de cable experimenta la carga de cable nominal máxima.

En diversas realizaciones, el conjunto 12 de cable está configurado de tal manera que a la carga de cable nominal máxima, tanto la compresión de subunidad se mantiene dentro de los intervalos de compresión comentados en el presente documento como la tensión,  $T_1$ , experimentada por las fibras 30 ópticas permanece por debajo de la fuerza de resorte del resorte 54 y/o dentro de los intervalos de fuerza de resorte comentados en el presente documento. En tales realizaciones, el conjunto 12 de cable está configurado de tal manera que a la carga de cable nominal máxima, el resorte 54 no supera la compresión máxima permitida y las subunidades 16 no se doblan.

En diversas realizaciones, el conjunto 12 de cable puede estar configurado de tal manera que a medida que la carga axial, representada por  $T_2$ , aumenta, la compresión de subunidad alcanza el umbral al que se produce el doblado de la subunidad (véase la figura 8) antes de que el resorte 54 supere la compresión de resorte máxima permitida. En tales realizaciones, el instalador o usuario del conjunto 12 de cable podrá detectar visualmente el conjunto de cable defectuoso o con carga excesiva simplemente observando las subunidades dobladas. Esto permite al usuario retirar, sustituir o reparar de otro modo el conjunto 12 de cable con carga excesiva basándose en la observación de subunidades dobladas que indican un exceso de carga sin requerir someter a prueba la conexión óptica en el conector 20 (lo cual no puede realizarse visualmente).

Aunque el equilibrio de tensión entre las fibras 30 ópticas y los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores será diferente basándose en las propiedades físicas de diferentes diseños de conjunto de cable, el solicitante ha determinado que los umbrales de compresión de subunidad y los límites de compresión de resorte comentados anteriormente pueden lograrse construyendo un conjunto de cable en el que la rigidez axial de las fibras 30 ópticas dentro de una subunidad 16 particular está equilibrada con respecto a la rigidez axial de los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores de una subunidad 16 particular, para un diseño de cable particular. En diversas realizaciones, la rigidez axial de las fibras 30 ópticas está dentro de un intervalo de 6 kN a 11 kN y más específicamente de 7,1 kN a 10,7 kN, y la rigidez axial de los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores está dentro de un intervalo de 10 kN a 50 kN y más específicamente de 12,5 kN a 49 kN.

Además, los umbrales de compresión de subunidad y los límites de compresión de resorte comentados anteriormente también pueden lograrse equilibrando la rigidez axial de las subunidades 16 con respecto a la rigidez axial total del cable 10, para un diseño de cable particular. En diversas realizaciones, la rigidez axial de una subunidad 16 está dentro de un intervalo de 16 kN a 61 kN, y la rigidez axial del cable 10 está dentro de un intervalo de 150 kN a 2000 kN.

#### Ejemplos de diseño de subunidad

En diversas realizaciones, la rigidez axial de las fibras 30 ópticas de una subunidad particular es el producto del área en sección transversal de soporte de carga de todas las fibras 30 ópticas dentro de una subunidad ( $A_{\text{fibra}}$ ) multiplicado por el módulo de elasticidad del material de fibra ( $E_{\text{fibra}}$ ). Por tanto, la rigidez axial de las fibras 30 ópticas viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 1: EA de fibra} = A_{\text{fibra}} * E_{\text{fibra}}$$

De manera similar, la rigidez axial de los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores de una subunidad particular es el producto del área en sección transversal de soporte de carga de todos los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores dentro de una subunidad ( $A_{\text{er}}$ ) multiplicado por el módulo de elasticidad del material de elemento de resistencia ( $E_{\text{er}}$ ). Por tanto, la rigidez axial de los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 2: EA de elemento de resistencia} = A_{\text{er}} * E_{\text{er}}$$

Dado que los elementos de soporte de carga primarios de una subunidad 16 son las fibras 30 ópticas y los elementos 34 de resistencia a la tracción interiores, la rigidez axial total de una subunidad viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 3: EA de subunidad} = \text{EA de elemento de resistencia} + \text{EA de fibra}$$

Tal como se indicó anteriormente, las subunidades 16 están configuradas de tal manera que a la carga de cable nominal máxima y/o a la carga axial que genera la compresión de subunidad máxima permitida, la carga axial soportada por las fibras 30 ópticas es menor que la fuerza de resorte máxima permitida del resorte 54 de conector (mostrado en la figura 5). Esta relación se muestra mediante la siguiente ecuación

**Ecuación 4:**  $\frac{EA \text{ de fibra}}{EA \text{ de subunidad}} * T_1 < \text{Fuerza de resorte de conector}$

5 En la ecuación 4,  $T_1$  es la carga axial total experimentada por la subunidad 16, y en realizaciones específicas,  $T_1$  puede ser la carga axial total experimentada por la subunidad 16 a la carga de cable nominal máxima para el conjunto 12 de cable. En otras realizaciones,  $T_1$  puede ser la carga axial total experimentada por la subunidad 16 a la carga axial de conjunto de cable,  $T_2$ , que genera la compresión de subunidad máxima permitida. Tal como se comentó anteriormente,  $T_1$  puede determinarse para un cable 10 o subunidad 16 particular sometiendo directamente a prueba, o puede determinarse a partir de propiedades de carga de cable tal como se comenta en más detalle a continuación.

10 Sustituyendo la ecuación 3 en la ecuación 4, la cantidad de EA de elemento de resistencia necesaria basándose en unos límites de carga axial de subunidad particular, representados por  $T_1$ , viene dada por la ecuación:

**Ecuación 5:**  $EA \text{ de elemento de resistencia} > \left( \frac{T_1}{\text{Fuerza de resorte}} - 1 \right) * EA \text{ de fibra}$

15 Por tanto, el número total de elementos 34 de resistencia interiores necesarios se determina usando la ecuación 5, basándose en el área en sección transversal y módulo de elasticidad conocidos para el tipo y tamaño deseados de elementos de resistencia. Tal como se entenderá, el área en sección transversal para una fibra de aramida puede derivarse a partir del denier del tipo de fibra elegido particular y el módulo de elasticidad de esa fibra es normalmente de entre 70 GPa y 80 GPa para aramida de módulo convencional, y es normalmente de entre 100 GPa y 120 GPa para aramida de módulo alto. Tal como se muestra a continuación, la tabla 1 muestra el número mínimo y tipo de hebras de hilo de aramida necesarios para satisfacer la ecuación 5 para cuatro diseños de subunidad diferentes:

Tabla 1

	Diseño de subunidad 1	Diseño de subunidad 2	Diseño de subunidad 3	Diseño de subunidad 4
D.E. de subunidad (mm)	2,0	2,0	3,0	3,0
Grosor de pared de subunidad (mm)	0,3	0,3	0,45	0,45
$T_1$	14	14	70,9	70,9
Número de fibras	12	8	12	8
EA de fibra (kN)	10,7	7,1	10,7	7,1
EA de aramida necesaria (kN)	8,01	5,34	83,94	55,96
Hilos de aramida mínimos y tipo necesarios para cumplir EA de aramida	3x380 denier	2x380 denier	7x1420 denier	5x1420 denier

20 Ejemplos de diseño de cable

Dado que las subunidades mostradas en la tabla 1 se incorporan en un conjunto de cable, tal como el conjunto 12 de cable, la determinación de la EA de elemento de resistencia necesaria en cada subunidad puede basarse en las diversas cargas axiales, representadas por  $T_2$  en la figura 8, que puede experimentar el conjunto 12 de cable.

25 En general, el cable 10 puede diseñarse para mantener la carga de tracción,  $T_1$ , sobre las patas 18 de bifurcación por debajo de los umbrales particulares para garantizar que no se supera la fuerza de resorte máxima y/o para garantizar que la compresión de subunidad permanece dentro de uno o más de los intervalos descritos a continuación. En diversas realizaciones, el cable 10 está diseñado de tal manera que se cumplen los límites de compresión, compresión de resorte y/o cargas de tracción al tiempo que también se permite que algo de la carga axial alcance las fibras 30 ópticas.

30 A modo de ejemplo, la rigidez axial del cable (EA de cable) es la suma de todas las EA de subunidad y las EA de los elementos 32 de resistencia a la tracción exteriores (mostrados en la figura 2), que en diversas realizaciones pueden ser hebras de hilo de aramida y/o vástagos de resistencia (por ejemplo, vástagos de GRP, alambre de metal, etc.). Cuando las subunidades 16 disponen a modo de hebras en un patrón de disposición de hebras helicoidal, la carga distribuida a lo largo de la subunidad viene dada por la siguiente ecuación 6:

35 Ecuación 6:  $T_s = T_1 e^{\mu \theta}$

40 En la ecuación 6,  $T_s$  es la fuerza máxima a lo largo de la subunidad dentro de la longitud de cable para provocar la compresión máxima permitida de la subunidad;  $T_1$  es la tensión experimentada por la funda 28 de subunidad, específicamente a la carga a la que se alcanza la compresión máxima deseada,  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre la cubierta de subunidad y los hilos y fibras de tracción de subunidad, y  $\theta$  es la longitud de envuelta radial de la subunidad, en radianes. La longitud de envuelta radial se determina dividiendo la longitud de cable crítica entre el radio de curvatura de la subunidad. El radio de curvatura de la subunidad se determina mediante los parámetros de disposición de hebras del cable tal como viene dado por la ecuación 7 expuesta a continuación:

**Ecuación 7:**  $R = D' / 2 + P^2 / 2\pi^2 D'$

En la ecuación 7,  $D'$  es el diámetro de círculo de paso de las unidades con disposición de hebra y  $P$  es la longitud de paso o trenzado de la hebra.

5 En teoría,  $T_s$  puede aumentar exponencialmente para siempre, pero en la práctica  $T_s$  aumenta hasta que alcanza el límite de carga para un componente de cable completamente acoplado. Este límite se calcula como la EA de subunidad dividida entre la EA de cable multiplicado por la carga nominal. La experiencia ha mostrado una longitud de cable crítica de 6 m mediante pruebas de laboratorio de diversos conjuntos de cable. Dicho de otro modo, si un conjunto de cable de 6 m no comprime al máximo las patas de bifurcación a la carga de cable nominal entonces tampoco lo harán conjuntos de cable de longitud mayor. A partir de esto, puede concluirse que si la subunidad se acopla completamente dentro de 6 m de cable entonces las patas de bifurcación no se doblarán ni volverán demasiado onduladas. Esto se expresa matemáticamente en la ecuación 8.

**Ecuación 8:**  $\frac{EA \text{ de subunidad}}{EA \text{ de cable}} * \text{carga nominal} < T_s$

15 En la ecuación 8,  $T_s$  es el valor calculado a una longitud de cable de 6 m para una subunidad con disposición de hebras helicoidal. Los cálculos anteriores para  $T_s$  se refieren a subunidades con disposición de hebras helicoidal. Si las subunidades tienen disposición de hebras en SZ, entonces hay secciones de la disposición de hebras en los cambios de sentido en las que las subunidades son paralelas al eje de cable. Esto se tiene en cuenta habitualmente mediante un factor de corrección del 10% incorporado en las ecuaciones de hélice. Por tanto, para unos cables con disposición de hebras en SZ,  $T_s$  se calculará para una longitud de cable de 5,6 m. Para subunidades con disposición de hebras en cables de fibra óptica, el diámetro de círculo de paso,  $D'$ , se determina mediante el número de subunidades y el diámetro de subunidad. Las subunidades con un radio de curvatura más grande son más difíciles de acoplar que las subunidades con un radio de curvatura más pequeño. Por tanto, los casos limitantes son cables con unas pocas subunidades que tienen diámetros pequeños. Se calcularon las longitudes de trenzado máximas determinadas a partir de las ecuaciones anteriores para los diseños de subunidad 1 y 2 (mostrados en la tabla 1), en cables con tres subunidades que tienen disposición de hebras en SZ, para diversos niveles de EA de cable EA basándose en diferentes cantidades y tamaños de elementos 32 de resistencia exteriores. Los resultados se muestran en la tabla 2 a continuación. En una realización específica, los diseños de subunidad 1 y 2 son diseños de subunidad EDGE 2.0 y EDGE 8 de Corning que incorporan los diseños de elemento de resistencia comentados en el presente documento, y se sometieron a prueba para validar los diseños de subunidad comentados en el presente documento.

Tabla 2

Elementos de resistencia a la tracción exteriores	Diseño de subunidad 1		Diseño de subunidad 2	
	EA de cable (kN)	Longitud de trenzado máxima (mm)	EA de cable (kN)	Longitud de trenzado máxima (mm)
18x 1420 d	312	260	330	247
12x 1420 d	263	248	257	228
10x 1420 d	241	232	233	222
4x 1420 d	141	207	159	201

35 En diversas realizaciones, las subunidades 16 pueden incluir una amplia variedad de fibras ópticas incluyendo fibras multimodo, fibras monomodo, fibras de curvado intenso, etc. En diversas realizaciones, la cubierta 22 de cable y la funda 28 de subunidad pueden ser de una variedad de materiales usados en la fabricación de cables, tales como polietileno, poli(cloruro de vinilo) (PVC), poli(difluoruro de vinilideno) (PVDF), nailon, polipropileno, poliéster o policarbonato y sus copolímeros. Además, el material de la cubierta 22 de cable y la funda 28 de subunidad puede incluir cantidades de otros materiales o cargas que proporcionan diferentes propiedades a la cubierta 22 de cable y la funda 28 de subunidad. Por ejemplo, el material de la cubierta 22 de cable puede incluir materiales que proporcionan coloración, bloqueo de UV/luz (por ejemplo, negro de carbono), resistencia al fuego, etc.

40 Los elementos de transmisión ópticos comentados en el presente documento incluyen fibras ópticas que pueden ser fibras ópticas flexibles, transparentes, fabricadas de vidrio o plástico. Las fibras pueden funcionar como guía de ondas para transmitir luz entre los dos extremos de la fibra óptica. Las fibras ópticas pueden incluir un núcleo transparente rodeado por un material de revestimiento transparente con un índice de refracción inferior. Puede mantenerse la luz en el núcleo mediante reflexión interna total. Las fibras ópticas de vidrio pueden comprender silice, pero pueden usarse algunos otros materiales tales como fluorocirconato, fluoroaluminato y vidrios de calcogenuro, así como materiales cristalinos tales como zafiro. La luz puede guiarse por el núcleo de las fibras ópticas mediante un revestimiento óptico con un índice de refracción inferior que atrapa la luz en el núcleo mediante reflexión interna total. El revestimiento puede recubrirse con un protector y/u otro(s) recubrimiento(s) que lo protegen frente a la humedad y/o daño físico. Estos recubrimientos pueden ser materiales compuestos de uretano-acrilato curados por UV aplicados al exterior de la fibra óptica durante el procedimiento de estirado. Los recubrimientos pueden proteger las hebras de fibra de vidrio. Además de las subunidades 16 comentadas anteriormente, las

unidades de transmisión ópticas tal como se comentan en el presente documento pueden incluir cintas de fibra óptica, fibras ópticas con protector apretado, micromódulos de fibra óptica, etc.

**REIVINDICACIONES**

1. Conjunto (12) de cable de comunicación óptico que comprende:  
 una cubierta (22) de cable exterior;  
 un primer elemento (32) de resistencia a la tracción rodeado por la cubierta (22) de cable exterior;
- 5 una pluralidad de unidades (16) de transmisión ópticas rodeadas por la cubierta (22) de cable exterior; comprendiendo cada unidad (16) de transmisión óptica:  
 una cubierta (28) interior que define un paso (26);  
 una pluralidad de elementos (30) de transmisión ópticos alargados ubicados dentro del paso (26); y  
 un segundo elemento (34) de resistencia a la tracción ubicado dentro del paso (26)
- 10 una unidad (14) de bifurcación, en la que el primer elemento (32) de resistencia a la tracción y las cubiertas (28) interiores de cada una de las unidades (16) de transmisión ópticas están acopladas a la unidad (14) de bifurcación, en el que la pluralidad de elementos (30) de transmisión ópticos alargados se extienden a través de la unidad (14) de bifurcación sin acoplarse a la unidad (14) de bifurcación; y
- 15 un conector (20) óptico acoplado a un extremo de cada una de la pluralidad de unidades (16) de transmisión ópticas, comprendiendo cada conector (20) óptico:  
 un cuerpo (50) acoplado al segundo elemento (34) de resistencia a la tracción de la unidad (16) de transmisión óptica;  
 un casquillo (52) acoplado a los elementos (30) de transmisión ópticos alargados de la unidad (16) de transmisión óptica; caracterizado porque el segundo elemento (34) de resistencia a la tracción se extiende a través de la unidad (14) de bifurcación sin acoplarse a la unidad (14) de bifurcación; y por
- 20 un resorte (54) ubicado entre el casquillo (52) y el cuerpo (50), el resorte (52) tiene una fuerza de resorte representativa de la fuerza necesaria para provocar una compresión máxima permitida del resorte (52);  
 en el que el primer elemento (32) de resistencia a la tracción está ubicado fuera de las cubiertas (28) interiores de las unidades (16) de transmisión ópticas;
- 25 en el que conjunto (12) de cable tiene una carga de cable nominal máxima y en el que a la carga de cable nominal máxima, la suma de fuerzas axiales experimentadas por los elementos (30) de transmisión ópticos alargados dentro de cada una de las unidades (16) de transmisión ópticas es mayor de 0,5 N y es menor que la fuerza de resorte.
- 30 2. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 1, en el que los elementos de transmisión ópticos son fibras ópticas, en el que el segundo elemento de resistencia a la tracción de cada unidad de transmisión óptica tiene una rigidez axial y las fibras ópticas de cada unidad de transmisión óptica juntas tienen una rigidez axial de fibra óptica, en el que la razón de la rigidez axial del segundo elemento de resistencia a la tracción con respecto a la rigidez axial de fibra óptica de cada unidad de transmisión óptica es de tal manera que, bajo carga axial a la carga de cable nominal máxima, una disminución de longitud de una parte de al menos una unidad de transmisión óptica entre la unidad de bifurcación y el conector óptico es de entre el 0,1% y el 2,5%.
- 35 3. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 2, en el que la rigidez axial del segundo elemento de resistencia a la tracción de cada unidad de transmisión óptica se define como el área en sección transversal del segundo elemento de resistencia a la tracción multiplicada por el módulo de elasticidad del material del segundo elemento de resistencia a la tracción, en el que la rigidez axial de fibra óptica de cada unidad de transmisión óptica se define como el área en sección transversal total de las fibras ópticas de la unidad de transmisión óptica multiplicada por el módulo de elasticidad del material de las fibras ópticas.
- 40 4. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 2, en el que, a la carga de cable nominal máxima, la disminución de longitud de la parte de la unidad de transmisión óptica entre la unidad de bifurcación y el conector óptico es de entre 1 mm y 15 mm.
- 45 5. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 2, en el que además:  
 el primer elemento de resistencia a la tracción tiene una rigidez axial;  
 cada unidad de transmisión óptica tiene una rigidez axial que es la suma de la rigidez axial del segundo elemento de resistencia a la tracción y la rigidez axial de las fibras ópticas;

el conjunto de cable tiene una rigidez axial total que es la suma de la rigidez axial de todas las fibras ópticas, la rigidez axial de todos los segundos elementos de resistencia a la tracción y la rigidez axial del primer elemento de resistencia a la tracción;

5 una razón de la rigidez axial de una de las unidades de transmisión ópticas con respecto a la rigidez axial total del conjunto de cable es de tal manera que, bajo carga axial a la carga de cable nominal máxima, una disminución de longitud de la parte de todas las unidades de transmisión ópticas entre la unidad de bifurcación y el conector óptico es de entre el 0,1% y el 2,5%.

10 6. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 1, en el que, dentro de cada unidad de transmisión óptica, una longitud del segundo elemento de resistencia a la tracción es sustancialmente igual a una longitud de al menos uno de los elementos de transmisión ópticos alargados.

7. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 1, en el que el segundo elemento de resistencia a la tracción de cada unidad de transmisión óptica comprende una pluralidad de hebras de hilo de resistencia a la tracción.

15 8. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 7, en el que la fuerza de resorte es mayor de 5 Newton, en el que las hebras de hilo de resistencia a la tracción son hebras de hilo de aramida, en el que la pluralidad de elementos de transmisión ópticos alargados de cada unidad de transmisión óptica comprende al menos ocho fibras ópticas, que comprende además al menos tres unidades de transmisión ópticas.

20 9. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 1, que comprende además un material adhesivo ubicado dentro de la unidad de bifurcación, uniendo el material adhesivo entre sí, y poniendo en contacto, el primer elemento de resistencia a la tracción, superficies exteriores de las cubiertas interiores de la pluralidad de unidades de transmisión ópticas y la unidad de bifurcación.

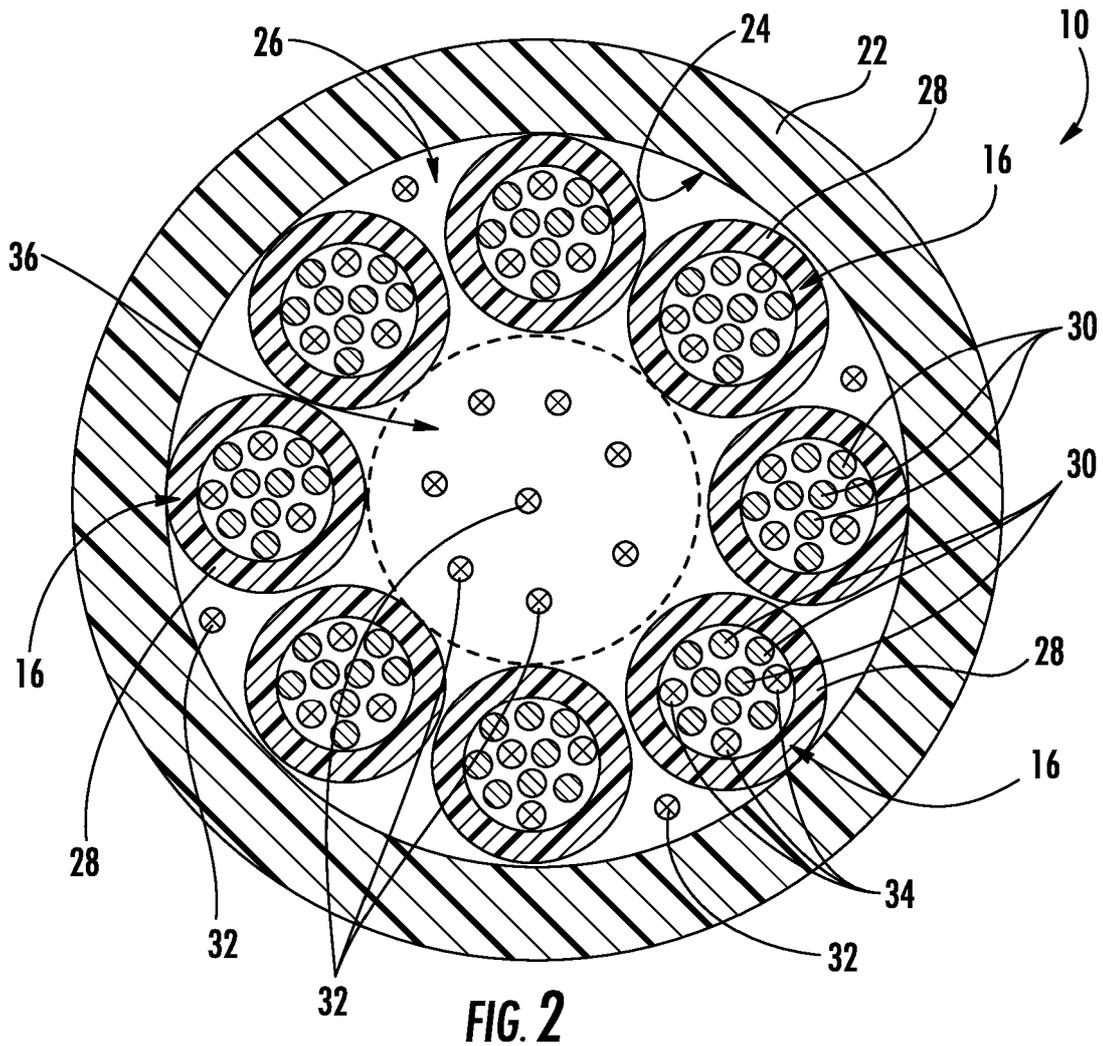
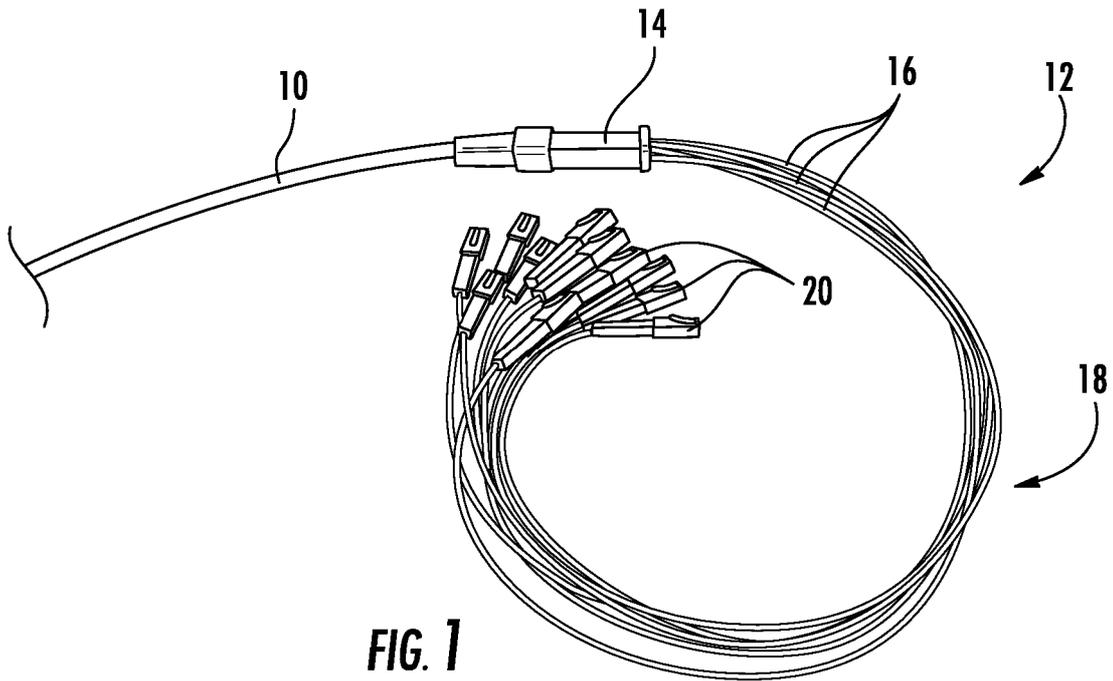
25 10. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 9, en el que la cubierta interior de cada unidad de transmisión óptica se extiende a través de la unidad de bifurcación, y en el que además una superficie exterior de la cubierta de cable exterior define una superficie más externa del conjunto de cable en un lado aguas arriba de la unidad de bifurcación y las superficies exteriores de las cubiertas interiores de las unidades de transmisión ópticas definen superficies más externas del conjunto de cable en el lado aguas abajo de la unidad de bifurcación.

30 11. Conjunto (12) de cable de comunicación óptico que comprende: una cubierta (22) de cable exterior; un primer elemento (32) de resistencia a la tracción rodeado por la cubierta (22) de cable exterior que tiene una rigidez axial; una pluralidad de subunidades (16) rodeadas por la cubierta (22) de cable exterior, comprendiendo cada subunidad (16): una cubierta (28) interior que define un paso (26); una pluralidad de fibras (30) ópticas ubicadas dentro del paso (26); un segundo elemento (34) de resistencia a la tracción ubicado dentro del paso (26); en el que cada subunidad (16) tiene una rigidez axial; una unidad (14) de bifurcación, en el que el primer elemento (32) de resistencia a la tracción y las cubiertas (28) interiores de cada subunidad (16) están acoplados a la unidad (14) de bifurcación, en el que la pluralidad de fibras (30) ópticas de cada subunidad (16) se extienden a través de la unidad (14) de bifurcación sin acoplarse a la unidad (14) de bifurcación; y un conector (20) óptico acoplado a un extremo de cada una de las subunidades (16), comprendiendo cada conector (20) óptico: un cuerpo (50) acoplado al segundo elemento (34) de resistencia a la tracción de la subunidad (16); y un casquillo (52) acoplado a todas las fibras (30) ópticas de la subunidad (16); caracterizado porque el segundo elemento (34) de resistencia a la tracción se extiende a través de la unidad (14) de bifurcación sin acoplarse a la unidad (14) de bifurcación; y en el que el conjunto (10) de cable tiene una carga de cable nominal máxima y una rigidez axial total que es la suma de las rigideces axiales de todas las fibras (30) ópticas de todas las subunidades (16), de los segundos elementos (34) de resistencia de todas las subunidades (16) y del primer elemento (32) de resistencia a la tracción; en el que, bajo carga axial aplicada en la unidad (14) de bifurcación, cada subunidad (16) experimenta una parte de la carga axial que provoca la compresión de una parte de la subunidad (16) ubicada entre la unidad (14) de bifurcación y el conector (20) óptico, la compresión es relativa a la cantidad de carga axial, en el que además tanto las fibras (30) ópticas como el segundo elemento (34) de resistencia a la tracción experimentan algo de la parte de la carga axial de la subunidad (16); en el que una razón de la rigidez axial de las subunidades (16) con respecto a la rigidez axial total del conjunto de cable es de tal manera que la compresión de cada subunidad es de entre el 0,1% y el 2,5% de una longitud inicial de la parte de la subunidad (16) entre la unidad (14) de bifurcación y el conector (20) óptico a la carga de cable nominal máxima.

45 12. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 11, en el que cada conector óptico comprende además un resorte ubicado entre el casquillo y el cuerpo, el resorte tiene una fuerza de resorte representativa de la fuerza necesaria para provocar una compresión máxima del resorte, en el que a la carga de cable nominal máxima una fuerza axial experimentada por las fibras ópticas de una subunidad es mayor de cero y es menor que la fuerza de resorte.

55 13. Conjunto de cable de comunicación óptico según la reivindicación 11, en el que rigidez axial se define como el área en sección transversal de un componente de cable multiplicada por el módulo de elasticidad del material que

forma el componente de cable, en el que, dentro de cada subunidad, una longitud de la segunda hebra de resistencia a la tracción es sustancialmente igual a una longitud de cada una de las fibras ópticas de la subunidad.



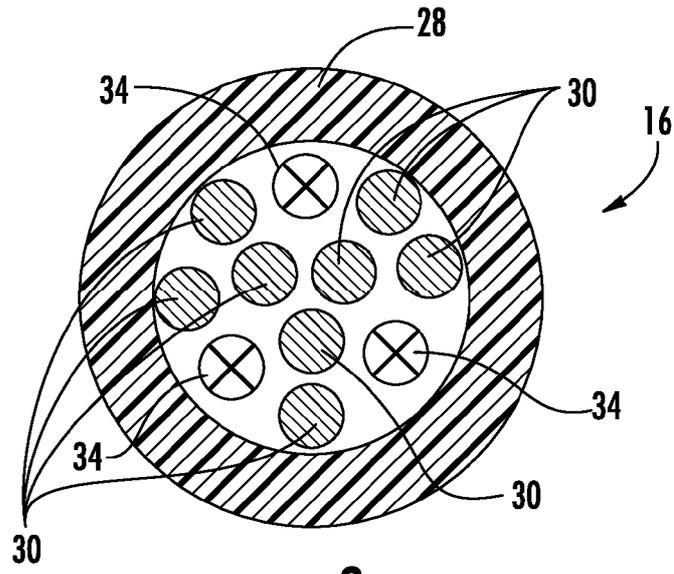


FIG. 3

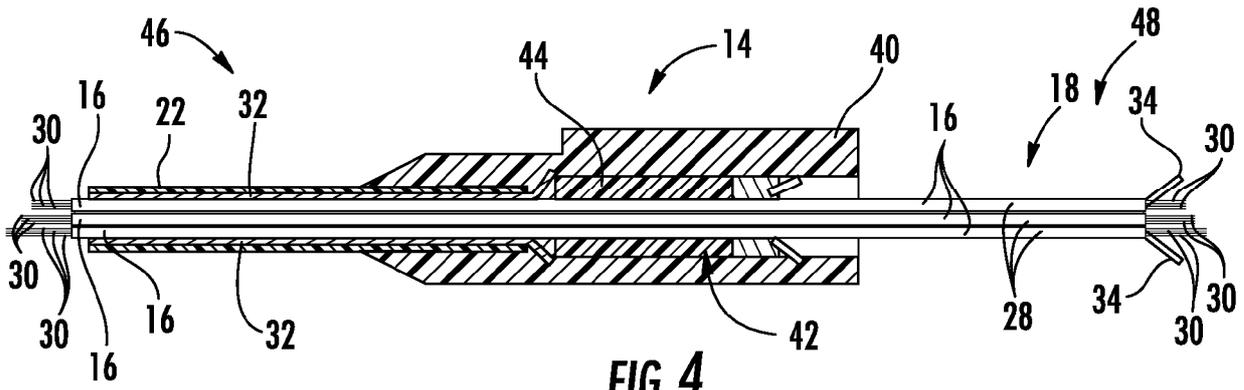


FIG. 4

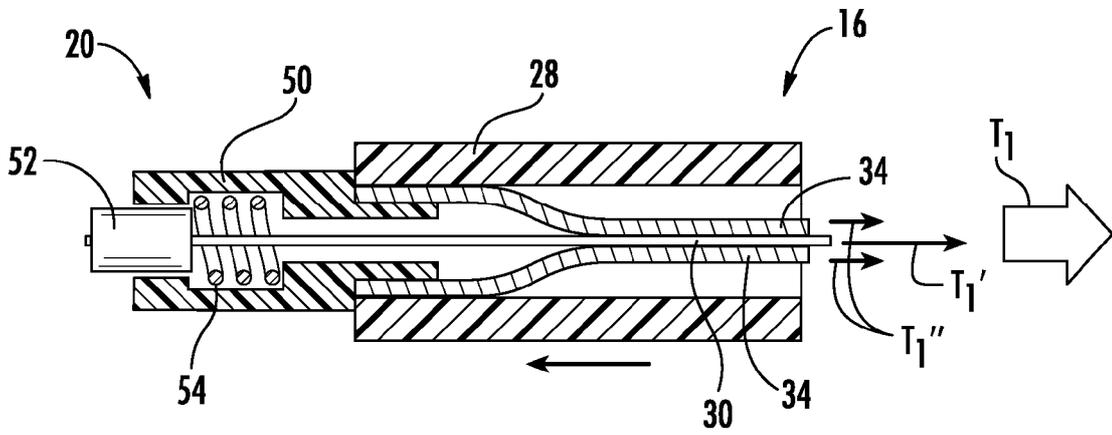


FIG. 5

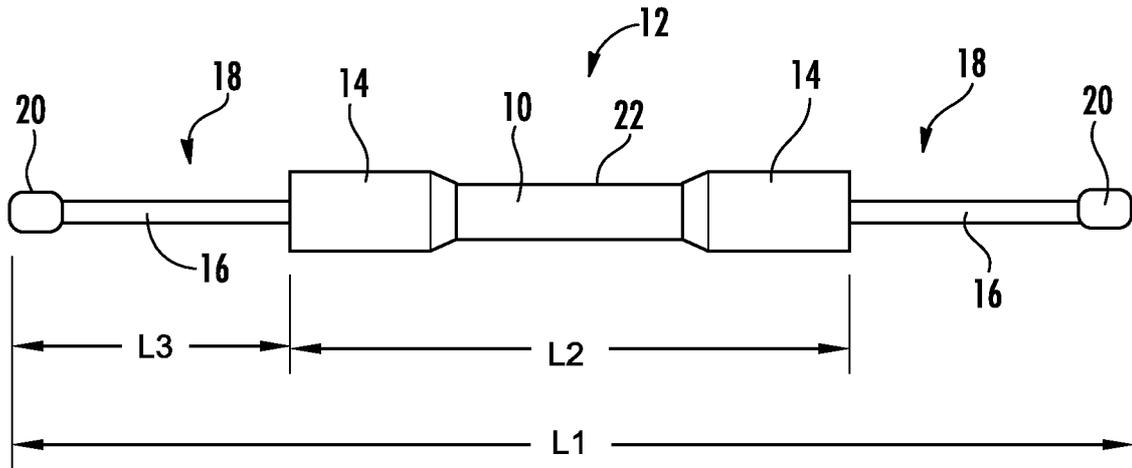


FIG. 6

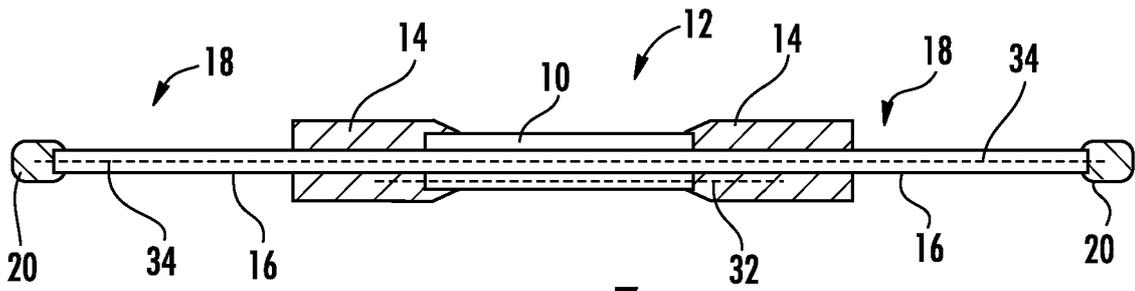


FIG. 7

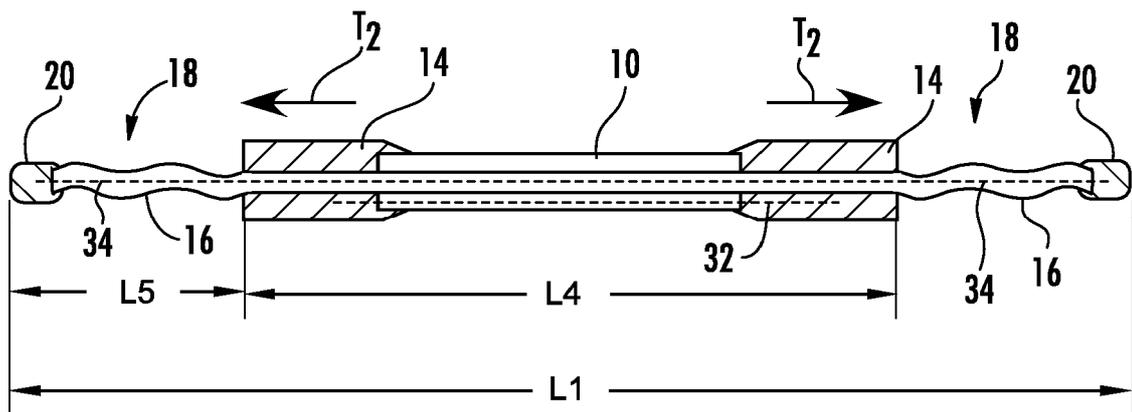
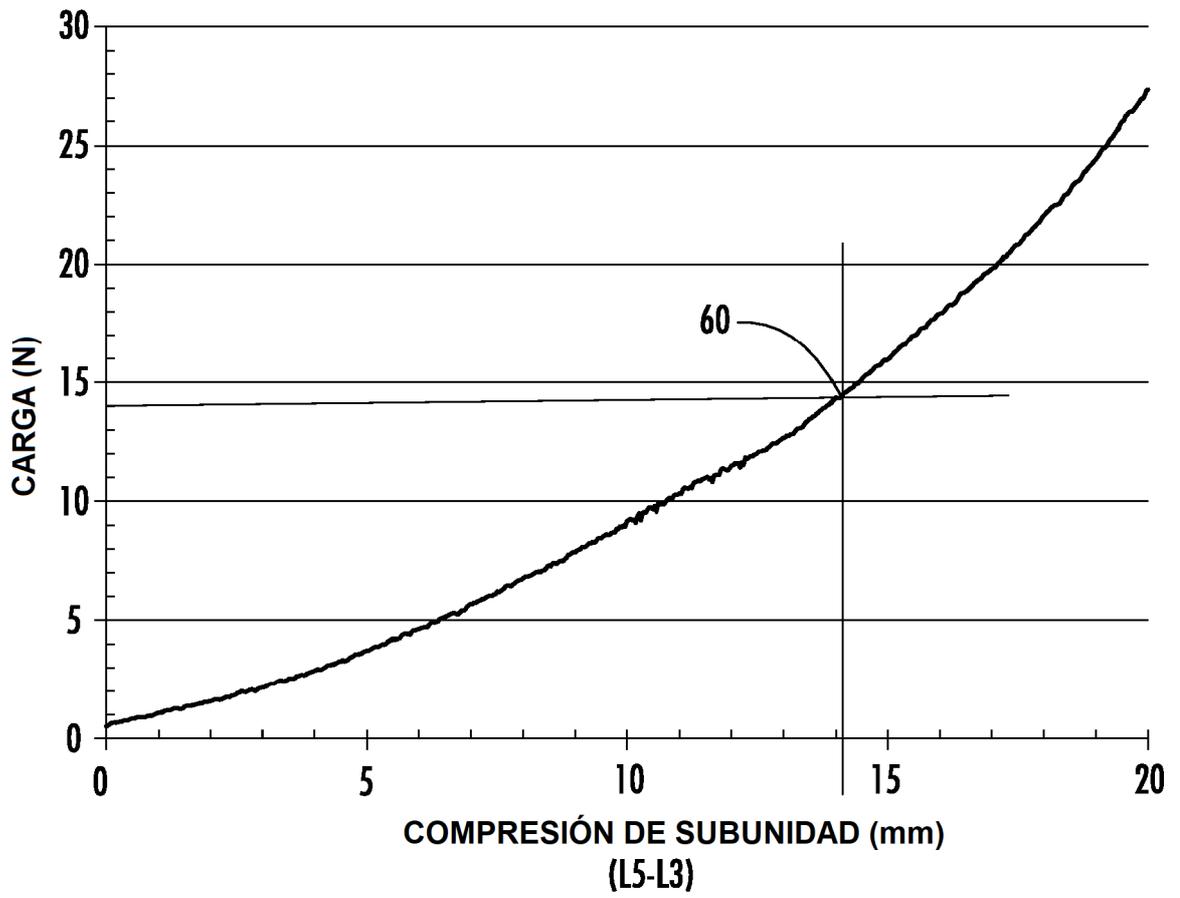


FIG. 8



**FIG. 9**