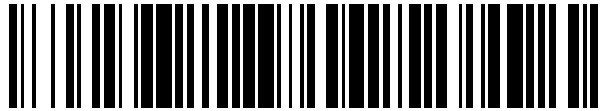


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 434**

51 Int. Cl.:  
**G02B 6/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03817934 .7**

96 Fecha de presentación: **25.07.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1664876**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.06.2006**

54 Título: **Cable de fibra óptica dieléctrico con características de instalación mejoradas**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**21.08.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**21.08.2012**

73 Titular/es:  
**PRYSMIAN S.P.A.  
VIALE SARCA 222  
20126 MILANO, IT**

72 Inventor/es:  
**PIZZORNO, M.;  
GINOCCHIO, A. y  
BRANDI, G.**

74 Agente/Representante:  
**Carpintero López, Mario**

**ES 2 386 434 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 dieléctrico con características de instalación mejoradas.

La presente invención se refiere a un cable de fibra óptica de telecomunicación y, en particular, se refiere a un cable de fibra óptica dieléctrico de diámetro reducido con características de instalación mejoradas para su uso en la parte terminal de una red de telecomunicación de acceso.

Las redes de telecomunicación de acceso fabricadas con hilos de cobre están siendo sustituidas por redes de fibra óptica en vista de sus grandes capacidades de ancho de banda. Dado que la sustitución depende de las solicitudes efectivas de los clientes finales y que es bastante costosa para un proveedor de telecomunicaciones, algunos proveedores emplean el sistema de disponer una red de acceso compuesta únicamente por conductos de plástico vacíos para tender los cables de fibra óptica en los conductos solo cuando han sido recibidas las pertinentes solicitudes por parte de los clientes. Dichos cables ópticos de red de acceso podrían comprender un número reducido de fibras ópticas, típicamente 2 :12, 24, 48 o 72.

Una técnica apropiada para instalar estos cables ópticos dentro de los conductos es el "procedimiento de soplado": el cable de fibra óptica es propulsado a lo largo de un conducto previamente instalado mediante el arrastre fluido de un medio gaseoso, de modo preferente aire, soplado a lo largo del conducto en la dirección deseada del avance de un cable. Los procedimientos de soplado se consideran de utilidad para la instalación de un cable en trayectorias largas y cortas debido a su bajo coste, al corto tiempo de colocación y a la baja tensión aplicada sobre el cable.

De modo ventajoso, un cable óptico que sea capaz de ser provechosamente instalado dentro de los conductos mencionados con anterioridad mediante procedimientos de soplado debe tener un diámetro bastante reducido y un peso también bastante reducido. Dichos condicionamientos son habituales en todos los cables que van a ser instalados por soplado pero son mucho más importantes para los que están diseñados con destino a la parte de acceso terminal de la red, que se caracteriza por el elevado número de cambios de dirección (trayectoria tortuosa).

Las dos estructuras generalmente conocidas de cable óptico son el tubo de múltiples estructuras holgadas (MLT), en el que una pluralidad de tubos aloja de manera holgada las fibras ópticas y están dispuestos alrededor de un miembro de refuerzo central, y el tubo holgado central (CLT), en el que las fibras están alojadas de manera holgada dentro de un tubo único central y el refuerzo requerido del cable se suministra por otros medios, por ejemplo, por dos vástagos laterales.

En la técnica son conocidos los cables de fibra óptica dieléctricos MLT que comprenden hasta 24 fibras ópticas y se acoplan para su instalación por soplado en los conductos existentes. Por desgracia, dichos cables ópticos de múltiples tubos holgados, por su propia naturaleza, no son fácilmente miniaturizados. Por ejemplo, son conocidos unos cables ópticos MLT que comprende cuatro tubos (con seis fibras ópticas cada uno de ellos), en los que cada tubo tiene un diámetro exterior de 2,2 mm y un diámetro interior de 1,5 mm, y tienen un diámetro exterior de aproximadamente 6,3 mm. Así mismo, son conocidos otros cables ópticos MLT los cuales comprenden seis tubos (con cuatro fibras ópticas para cada uno de ellos), teniendo cada tubo un diámetro exterior de 1,9 mm y un diámetro interior de 1,2 mm, y tienen un diámetro exterior de aproximadamente 6,7 mm. Las dimensiones relativamente amplias de dicho cable exigen el uso de conductos de al menos 10 mm de diámetro exterior.

Los cables de fibra óptica CLT apropiados para su instalación por soplado se describen, por ejemplo, en el artículo de W. Griffioen et al. "Red de Acceso Óptico Versátil para el Mercado de los Consumidores Empresarial y de Futuro" ["Versatile Optical Access Network for Business and Future Consumer Market"], Communication Cables and Related Technologies A.L. Harmer (ed.) IOS Press., 1999, pp. 69 – 75. Dichos cables comprenden un tubo soldado de acero que está cubierto por una mezcla a base de HDPE (Polietileno de Alta Densidad). Estos cables pueden tener un diámetro exterior de aproximadamente 4 mm (los que comprenden 2 12 fibras) o aproximadamente 6 mm (los que comprenden 24 48 fibras) de forma que requieren ser instalados en conductos (típicamente hechos de plástico) que tienen un diámetro interior y exterior de 7 mm y 10 mm, respectivamente. Así mismo, se observa que los cables CLT referidos no son dieléctricos y dicha exigencia es generalmente una clave para las redes de acceso local que son altamente sensibles a los campos y fenómenos electromagnéticos.

A la vista de lo expuesto, se necesita un cable óptico que comprenda un número de fibras ópticas bastante reducido, típicamente de hasta 24 fibras ópticas, que sea dieléctrico, que pueda ser utilizado en un amplio abanico de temperaturas (típicamente desde aproximadamente -30° C hasta aproximadamente +60° C, para aplicaciones en exteriores, y desde aproximadamente -10° C hasta aproximadamente +60° C para aplicaciones de interiores) el cual pueda ser instalado mediante técnicas de soplado dentro de un tubo de dimensiones relativamente reducidas (típicamente con un diámetro interior de aproximadamente de 7 mm y un diámetro interior de aproximadamente 5 mm) y, por último, tenga un diámetro bastante reducido, típicamente de aproximadamente 4,0 : 4,5 mm.

El solicitante ha considerado que una estructura de cable CLT está especialmente indicada para conseguir estos objetivos. En otras palabras, una estructura de cable óptico aprovechable que proporcione unas características dieléctricas de resistencia a las temperaturas y de tamaño reducido es una estructura que comprenda: un tubo central que contenga fibras ópticas, una camisa de plástico que rodee el tubo central, y un par de vástagos dieléctricos diametralmente opuestos, que se extiendan de forma lineal que estén, al menos parcialmente

5 incrustados dentro de la camisa, ofreciendo los vástagos una rigidez compresora que resulte eficaz para impedir la contracción sustancial del cable y una rigidez a la tracción que resulte eficaz para recibir una carga de tracción sin que se produzca una transferencia sustancial de la carga de tracción hacia las fibras ópticas. Los vástagos proporcionan un módulo de tracción y compresor así como una resistencia para que sus propiedades compresoras sean suficientes para impedir el encogimiento de la camisa de plástico para ofrecer resistencia al pandeo durante la manipulación del cable.

10 El tipo de cable descrito con anterioridad con el tubo central y un par de vástagos de refuerzo dieléctricos situados simétricamente a los lados opuestos del tubo central se caracteriza por un comportamiento de flexión asimétrico. En particular, un cable del tipo expuesto muestra una rigidez de flexión en el plano que contiene los dos vástagos de refuerzo mayor que la rigidez de fricción en el plano ortogonal con respecto al plano que pasa por los vástagos de refuerzo. En otras palabras, un cable similar muestra un plano de flexión preferencial. El experto en la materia sabe que los cables basados en una estructura del tipo indicado pueden tener unas prestaciones reducidas en términos de las longitudes de cable máximas que pueden ser introducidas en un tubo, siendo las prestaciones de instalación incluso menores cuando se utilizan técnicas de soplado.

15 El documento US 2003/0044139, el cual se considera como la técnica anterior más próxima, describe un cable óptico tipo CLT el cual está reforzado por un par de vástagos de resistencia diametralmente opuestos. De acuerdo con el documento 2003/0044139, la resistencia a la flexión entre los planos de flexión ortogonales pueden diferir por un factor de solo 1,2 si los vástagos están rodeados por un revestimiento de adherencia de fricción que haga posible que se desplacen localmente por dentro de la camisa en respuesta al esfuerzo compresor o flexural aplicado sobre el cable, mientras que sin ese revestimiento el mismo factor sería de cuatro. De acuerdo con las enseñanzas del documento US 2003/0044139 ello incrementa las prestaciones de soplado del cable. El cable descrito en el documento 2003/0044139 es un cable que contiene un número relativamente grande de fibras ópticas y presenta unos vástagos de refuerzo con un diámetro bastante considerable (1,5 ; 3,0 mm). Por consiguiente, es probable que dicho cable tenga un diámetro relativamente elevado y esté diseñado para su aplicación en una red troncal de telecomunicaciones, la cual no es tan tortuosa como la trayectoria de la parte final / de acceso de la propia red.

20 El documento US-A-5109457 divulga un cable de fibra óptica que incorpora unos miembros de resistencia hechos de material dieléctrico. Los miembros de resistencia están dispuestos diametralmente opuestos y ofrecen un módulo de rigidez para cooperar con los materiales de la camisa del cable para hacer que el cable, durante la flexión presente una superficie de flexión neutral preferente que resulte eficaz para reducir al mínimo la energía de formación transmitida al cable.

25 El documento US-A-6137936 divulga un cable de fibra óptica que tiene un núcleo con un taladro que contiene de forma holgada fibras ópticas. El cable incluye un miembro de resistencia único incrustado dentro de una camisa exterior que rodea el núcleo. El miembro de resistencia permite una facilidad de flexión relativa del cable en direcciones distintas de las direcciones de flexión en el plano de energía de flexión mínima.

30 A la vista de las consideraciones expuestas, un objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un cable de fibra óptica y, en particular, un cable de fibra óptica de diámetro reducido, con unas características de instalación mejoradas y especialmente indicado para su uso en la parte final de una red de telecomunicación de acceso o similar.

35 Un objetivo adicional de la presente invención consiste en proporcionar un cable de fibra óptica de telecomunicación dieléctrico de instalación mejorada el cual pueda ser instalado de forma provechosa mediante técnicas de soplado.

40 El Solicitante ha llevado a cabo algunas pruebas y ha observado que los cables ópticos que ofrecen la estructura de CLT mencionada con anterioridad (que comprende un tubo central y dos vástagos dieléctricos de refuerzo diametralmente expuestos) presentan una tendencia, cuando son soplados dentro de un conducto, a doblarse siempre en el plano en el que la resistencia a la flexión es menor y se requiere, en la medida correspondiente, la energía de deformación, de flexión, más baja. Por tanto, típicamente la flexión tiene lugar en el plano de la energía de deformación de la flexión más baja y las propiedades de flexión en el plano ortogonal a la energía más baja no afectan fundamentalmente al comportamiento de la flexión del cable.

45 El Solicitante, así mismo, ha observado que este comportamiento depende tanto de la estructura del cable como de la tortuosidad de la trayectoria, y que, bajo determinadas condiciones, el cable sería incapaz de orientarse de forma adecuada de acuerdo con su plano de energía de deformación de flexión más bajo.

50 De acuerdo con la presente invención, las características de instalación mejoradas de un cable óptico se obtienen mediante la provisión de un cable de fibra óptica en el que la energía de torsión se reduce con respecto a cables similares de forma que el cable es capaz de torcerse a lo largo de la trayectoria para orientar de forma apropiada su plano de energía más bajo, así mismo, en trayectorias especialmente tortuosas. De esta manera, la presente invención, a diferencia de la técnica anterior más próxima, obtiene la característica de instalación mejorada no actuando sobre la relación entre la resistencia a la flexión en dos planos ortogonales sino mediante la reducción de la energía de torsión del cable.

- 5 En otras palabras, el Solicitante ha descubierto que un cable CLT que presente un sistema de refuerzo que comprenda al menos dos miembros de resistencia desalineados con el eje geométrico central del cable, sino, de modo preferente, dos o más vástagos de resistencia laterales, pueda estar particularmente indicado para su instalación por soplado dentro de una trayectoria tortuosa, como por ejemplo dentro de la parte final de una red de telecomunicación de acceso mediante la relación máxima posible de su rigidez de torsión. El Solicitante ha verificado que un cable con una rigidez de torsión máxima de aproximadamente  $0,10 \text{ Nm}^2$ , de modo preferente de aproximadamente  $0,05 \text{ Nm}^2$ , de modo más preferente de aproximadamente  $0,02 \text{ Nm}^2$  satisface las exigencias referidas.
- 10 El Solicitante, así mismo, ha verificado que la rigidez de torsión del cable puede ser reducida hasta los bajos valores del tipo indicado reduciendo, de forma combinada o como alternativa, el diámetro de los vástagos de resistencia y la distancia mutua de los vástagos de resistencia
- 15 Puede apreciarse que, también para cables con una rigidez a la flexión relativamente alta en el plano de flexión preferencial, con unas prestaciones paralelas de instalación deficientes, una reducción de la rigidez de torsión mejora de cualquier manera su introducción por soplado dentro de conductos de instalación debido a una reducción del trabajo total invertido para el avance del cable.
- De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención se refiere a un cable de fibra óptica de acuerdo con la reivindicación 1.
- El cable óptico comprende, al menos, dos vástagos de resistencia, diametralmente opuestos, que se extienden en sentido lineal que están, al menos parcialmente, incrustados dentro de la camisa.
- 20 De modo preferente, la rigidez a la torsión es menor o igual a  $0,05 \text{ Nm}^2$  o, de modo más preferente, menor o igual a  $0,02 \text{ Nm}^2$ .
- De modo preferente, el momento de inercia polar ofrecido por los vástagos de refuerzo es inferior o igual a  $20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$ , de modo más preferente es inferior o igual a  $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$ .
- 25 De modo preferente, cuando el cable es guiado sobre una trayectoria constituida por dos incurvaciones separadas por  $0,5 \text{ m}$ , dispuestos sobre planos ortogonales y que presenten un radio de incurvación de acuerdo con el radio de incurvación dinámico mínimo prescrito para el cable, la relación entre el trabajo de flexión para la flexión del cable de fibra óptica alrededor de las dos incurvaciones y el trabajo de torsión para la torsión del cable entre las dos incurvaciones es mayor de 30, de modo preferente, mayor de 50, de modo más preferente mayor de 80 y aún de modo más preferente mayor de 90. La distancia de  $0,5 \text{ m}$  es significativa en el sentido de que representa una situación particularmente delicada en una instalación por soplado.
- 30 De modo preferente, la rigidez de flexión de la estructura del cable en el plano de flexión menor oscila entre aproximadamente  $0,01 \text{ Nm}^2$  y  $0,10 \text{ Nm}^2$ , de modo más preferente entre aproximadamente  $0,01 \text{ Nm}^2$  y  $0,06 \text{ Nm}^2$ .
- La distancia de los ejes de los vástagos de resistencia oscila entre aproximadamente  $1,5 \text{ mm}$  y  $5,0 \text{ mm}$ , de modo preferente entre aproximadamente  $2,0 \text{ mm}$  y  $4,0 \text{ mm}$ .
- 35 Los vástagos de resistencia tienen un diámetro menor o igual a aproximadamente  $1 \text{ mm}$ , de modo preferente entre aproximadamente  $0,4 \text{ mm}$  y  $0,7 \text{ mm}$ .
- La camisa tiene un diámetro inferior de entre aproximadamente  $3,0 \text{ mm}$  y aproximadamente  $6,0 \text{ mm}$ , de modo preferente entre aproximadamente  $4,0 \text{ mm}$  y  $5,0 \text{ mm}$  y de modo aún más preferente, entre aproximadamente  $4,0$  y  $4,5 \text{ mm}$ .
- 40 De modo preferente, los vástagos de resistencia comprenden Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio o Plástico reforzado con Aramida.
- De modo preferente, los vástagos de resistencia comprenden hebras filamentosas de fibras de vidrio y / o aramida.
- La presente invención quedará totalmente aclarada después de la lectura de la descripción detallada subsecuente teniendo como referencia los dibujos adjuntos, en los que:
- 45 • La Fig. 1 es una vista en perspectiva de un cable de acuerdo con la presente invención;
- la Fig. 2 es una vista en sección transversal del cable de acuerdo con la presente invención;
- la Fig. 3 es una vista en planta esquemática de una disposición de prueba que ha sido utilizada para probar el cable de la invención;
- la Fig. 4A muestra de forma esquemática la misma disposición de prueba de la Fig. 3 vista desde A;
- 50 • la Fig. 4B muestra de forma esquemática la misma disposición de prueba de la Fig. 3 vista desde B;

- la Fig. 5 muestra de forma esquemática la forma de medir la rigidez de flexión de un cable; y
- la Fig. 6 muestra de forma esquemática la forma de medir la rigidez de torsión de un cable.

Con referencia a las Figuras 1 y 2, el cable dieléctrico 10 de fibras ópticas de acuerdo con la presente invención comprende al menos un tubo central 11 que contiene unas fibras ópticas 12, una camisa de plástico 13 que rodea el tubo central 11, y un par de vástagos dieléctricos 14 diametralmente opuestos, que se extienden en sentido lineal que están, al menos parcialmente, incrustados en la camisa 13, teniendo los vástagos 14 una rigidez compresora que es eficaz para impedir la contracción sustancial del cable y una rigidez a la tracción eficaz para recibir una carga de tracción sin transferencia sustancial de la carga de tracción sobre las fibras ópticas 12. Posiblemente, el cable de acuerdo con la presente invención comprende así mismo unos elementos de corte 15 de la camisa para cortar la camisa 13 en las extremidades del cable con el fin de acceder fácilmente a las fibras. El cable 10 tiene un eje geométrico longitudinal 16.

De modo preferente, los vástagos comprenden unas hebras filamentosas de fibras de vidrio y / o de aramida, de modo más preferente, están hechas de GRP (Plástico Reforzado con Vidrio) o ARP (Plástico Reforzado con Aramida). Así mismo, los vástagos están, de modo preferente, situados en posición tangente a la superficie exterior del tubo central 11.

Típicamente, un cable de acuerdo con la presente invención comprende hasta 24 fibras ópticas 12. Pueden estar tendidas rectas o en forma de SZ dentro del tubo 11 y están, de modo preferente, agrupadas en un haz, por ejemplo con tres fibras centrales y otras nueve alrededor de las tres centrales, y el resto en la parte externa. El espacio existente entre las fibras y el tubo 11 está, de modo preferente, lleno de gelatina.

Con el fin de aprehender el comportamiento de un cable óptico del tipo expuesto cuando es instalado mediante técnicas de soplado en la parte de acceso de una red de telecomunicación, que se caracteriza por una trayectoria muy tortuosa, el Solicitante ha simulado una longitud de trayectoria típica mediante una disposición que se muestra en las Figuras 3, 4A y 4B. La disposición 100 comprende dos poleas 101 y 102 a una determinada distancia L una respecto de la otra. La primera polea 101 está montada de forma rotatoria alrededor de un eje geométrico 103. La dirección de rotación se indica mediante la referencia numeral 104. La segunda polea 102 está montada de forma rotatoria alrededor de un eje geométrico 105 que es ortogonal con respecto al eje geométrico 103. La dirección de rotación de la polea 102 se indica mediante la referencia numeral 106.

Un cable 10 de fibra óptica fue enrollado alrededor de la primera polea (véase la flecha 107), dirigido a través de la segunda polea 102 (véase la flecha 108) y enrollado alrededor de ella. Se ha observado por el Solicitante que el cable 10, que es del tipo ilustrado en las Figuras 1 y 2, tiene tendencia a flexionarse siempre en un plano en el que la resistencia a la flexión es menor y se requiere, en la medida correspondiente, la energía de deformación a la flexión más baja. De esta manera, en la disposición de las poleas de las Figuras 3 y 4, el cable tiende a torcerse alrededor de su eje geométrico 16 dentro de la trayectoria entre las dos poleas para el devanado del TC sobre ambas poleas 101 y 102 de acuerdo con el plano de resistencia a la flexión menor.

El comportamiento expuesto depende de la rigidez de torsión de la estructura del cable y, en particular, del trabajo mecánico necesario con el fin de conseguir que el cable sea rotado alrededor de su propio eje geométrico a lo largo de una longitud del cable entre dos poleas consecutivas. De esta manera, el cable de fibra óptica debe tener un trabajo de deformación total reducido, esto es que requiera una energía baja a la torsión para que pueda ser instalado dentro de una trayectoria muy tortuosa.

Dado que el cable óptico se considera fundamentalmente inelástico, todo el trabajo de deformación al que está sometido un cable óptico cuando pasa a través de las dos poleas, tal y como se ilustra en las Figuras 3, 4A y 4B, se determina mediante al menos los siguientes tres términos principales:

A: trabajo para la flexión (y rigidización posterior), del cable óptico alrededor de la primera polea.

B: trabajo para la torsión del cable óptico en la abertura entre dos poleas; y

45 C: trabajo para la flexión (y rigidización posterior) del cable óptico alrededor de la segunda polea.

El término A viene dado por  $L_{F1} = M_{F1} / R_1$  en el que  $M_{F1} = (E * J_m) / R_1$  es el momento de flexión asociado.

El término B viene dado por  $L_T = (1 / 2) * (\varphi / l) * M_T$  en el que  $M_T = (\varphi / l) * (G * J_p)$  es el momento de flexión asociado.

Finalmente, el término C viene dado por  $L_{F2} = M_{F2} / R_2$  en el que  $M_{F2} = (E * j_m) / R_2$  es el momento de flexión asociado.

50 Todos los términos de trabajo se calculan para una longitud de 1 m de cable deformado.

En los que:

$(E * J_m)$ : Rigidez de la flexión de un cable donde la energía es menor;

- $E$ : Coeficiente de elasticidad;
- $J_m$ : Momento de inercia de una sección de cable en el plano donde la energía es menor;
- $R_1, R_2$ : Radio de curvatura de las primera y segunda poleas;
- $(\varphi / l)$ : Torsión específica del cable por unidad de longitud;
- 5  $(G * J_p)$ : Rigidez de torsión del cable;
- $G$ : Coeficiente elástico de cizalladura; y
- $J_p$ : momento polar de inercia de la sección de cable.

10 La rigidez de la flexión se calcula mediante el procedimiento E 17B que se expone por el IEC 60794-1-2 / 1999 (la Fig. 5 muestra de forma esquemática un aparato de instalación de pruebas en voladizo):  $(E * J_m) = F * L^3 / (3 * S)$  donde  $F$  es la fuerza aplicada;  $S$  es la deflexión del cable; y  $L$  es la longitud del cable que es sometido al momento de flexión.

De acuerdo con el procedimiento E 17B, una muestra de cable es fijada en una abrazadera, una fuerza es aplicada al extremo de la muestra alejado de la abrazadera y se mide el desplazamiento subsecuente. La muestra debe estar preparada para impedir cualquier desplazamiento del cable en las extremidades que puedan afectar al resultado.

15 La rigidez de la torsión viene dada por:  $(G * J_p) = M_1 / (\theta / L)$ , donde  $M_1 = F * l$  es el momento de torsión que es aplicado, y  $(\theta / L)$  es la torsión específica de la estructura de cable.

20 La Fig. 6 muestra de forma esquemática un posible aparato de montaje de una prueba de torsión. Una muestra de cable es fijada dentro de una abrazadera en un extremo (en el lado izquierdo en la Fig. 6) y una segunda abrazadera en un extremo opuesto para impedir los desplazamientos relativos de los componentes del cable en los extremos que puedan afectar al resultado. A una distancia  $L$  desde la primera abrazadera se dispone una palanca de torsión (que tiene una longitud  $L$ ). En la Fig. 6, se lleva a cabo una torsión de  $90^\circ$  y se mide el correspondiente desplazamiento de una línea de referencia.

La explicación anterior pone en evidencia que todo el trabajo de deformación depende de los momentos de flexión y torsión y, por tanto, de las rigideces de la flexión y de la torsión.

25 El solicitante, por tanto, ha llegado a la conclusión de que la instalación de los cables CLT asimétricos mencionados con anterioridad, con respecto al cable simétrico (como por ejemplo un cable MLT), requiere un trabajo mecánico adicional que resulta necesario con el fin de que el cable se tuerza y se oriente de forma apropiada. "Orientado de forma apropiada" significa que el cable se disponga en una posición preferente con respecto al plano de flexión impuesto por la trayectoria de instalación, en particular con su plano de deformación de flexión más bajo en paralelo con el plano de flexión. El plano de flexión se considera como el plano que contiene las trayectorias rectas antes y después de la flexión y de la incurvación comprendidas entre ellas.

30 El trabajo mecánico adicional depende de varios factores, los cuales: la estructura física del cable (es decir, las características físicas de los componentes), el tamaño del cable y, en particular, la disposición y la distancia recíproca de los dos vástagos de refuerzo; de la cantidad del ángulo de rotación del cable para adaptarse al cambio del plano de flexión debido a la trayectoria de instalación local; y de la distancia entre dos incurvaciones consecutivas orientadas en planos de flexión diferentes (en el aparato que ha sido utilizado, la distancia  $L$  entre las dos poleas).

35 De acuerdo con algunas pruebas efectuadas por el solicitante, se ha descubierto que un cable de fibra óptica de tamaño reducido con una elevada relación entre el trabajo de deformación de la flexión y el trabajo de deformación de la torsión ( $L_f / L_t$ ) es capaz, también cuando es soplado dentro de conductos muy tortuosos de torcerse entre dos incurvaciones consecutivas del conducto para ofrecer siempre su plano de flexión de energía mínima orientado en paralelo con el plano de flexión impuesto por la trayectoria.

40 El Solicitante ha encontrado, en particular, que el cable óptico CLT con dos vástagos laterales es apropiado para ser soplado dentro de trayectorias especialmente tortuosas si la relación ( $L_f / L_t$ ) es mayor de aproximadamente 30, de modo preferente mayor de aproximadamente 50, de modo más preferente mayor de aproximadamente 80, aun de modo más preferente mayor de aproximadamente 90. Estos valores han sido en particular determinados considerando la condición particularmente pronunciada que incluya incurvaciones separadas por 0,5 m y que presente los planos respectivos de incurvación inclinados  $90^\circ$  entre sí.

La relación ( $L_f / L_t$ ) viene dada por la siguiente fórmula:

50 
$$(L_f / L_t) = (M_f / M_t) * (l / R) * k_1 = [(E * J) / (G * J_p)] * (l / R^2) * k_2 \quad (1)$$

en la que:

$L_f$ : trabajo de flexión (para flexionar / enderezar un cable sobre dos planos de flexión dispuestos de forma ortogonal uno respecto de otro);

$L_t$ : trabajo de torsión (para torcer un cable en un ángulo de 90° entre dos incurvaciones sobre

5  $M_f$ : los planos de flexión ortogonales); momento de flexión inferior (flexionar y enderezar un cable en dos planos que están descentrados en un ángulo de 90° con un radio de curvatura R);

$M_t$ : momento de torsión (para torsionar un cable en un ángulo de 90° a lo largo de una longitud de 0,5 m)

$(E^* J)$ : rigidez de flexión inferior de la estructura de cables;

$(G^* J_p)$ : rigidez de torsión de la estructura de cables;

10  $K_1, k_2$ : constantes que dependen de las condiciones laterales; y

R: radio de curvatura mínimo que puede imponerse al cable en condiciones dinámicas sin riesgo de daños estructurales (en general,  $R = n^* D$ ) donde  $D$  es el diámetro del cable y  $n$  es un factor experimental / empírico).

$$K_1 = 4 / (\varphi / l) \text{ y } k_2 = 4 / (\varphi / l)^2$$

15 De la fórmula anterior (1), se deriva que  $(L_f / L_t)$  es inversamente proporcional a  $R^2$  y a  $(G^* J_p)$ .

Por lo que se refiere a  $R$  se observa que cuanto menor es  $R$  mayor es la fuerza de flexión para flexionar el cable con respecto a la fuerza de torsión.

20 Como se deriva de la fórmula (1), la relación  $(L_f / L_t)$  está relacionada con la rigidez a la torsión  $(G^* J_p)$  del cable. El Solicitante ha encontrado que si la rigidez a la torsión  $(G^* J_p)$  es inferior a aproximadamente 0,10 Nm<sup>2</sup>, la relación deseada entre  $L_f$  y  $L_t$  puede ser satisfecha. Mejores prestaciones pueden obtenerse si  $(G^* J_p)$  es inferior a aproximadamente 0,05 Nm<sup>2</sup> y mayores prestaciones todavía pueden obtenerse si  $(G^* J_p)$  es inferior a aproximadamente 0,02 Nm<sup>2</sup>.

En la práctica, el término  $(G^* J_p)$  ofrece varias contribuciones desde las diferentes partes del cable, como por ejemplo el tubo central 11, la camisa 13 y los vástagos 14, de forma que puede expresarse como

25 
$$(G^* J_p) = \sum_i (G_i * J_{p,i}),$$

donde el coeficiente elástico de cizalladura  $G_i$  del componente simple  $i$  puede, a su vez, ser expresado como.

$$G_i = E \cdot \left[ \frac{1}{2(1 + 1/m_i)} \right]$$

30

donde  $1/m_i = \nu_i$  es el coeficiente de Poisson.

En la práctica, la rigidez a la torsión  $(G^* J_p)$  depende considerablemente de los dos vástagos de refuerzo que están, al menos parcialmente, incrustados en la camisa del cable.

35 El coeficiente elástico de cizalladura  $G$  está relacionado con los materiales específicos utilizados en el cable. Por lo que se refiere a los vástagos, tanto el GRP como el ARP tienen un valor de  $G$  inferior al metal y son, por consiguiente, preferentes para la aplicación considerada.

El momento de inercia polar de los vástagos viene dada por la siguiente fórmula (2),

$$J_{p,r} = 2 * \{[\pi r^4] / 2 + [\pi r^2] * y^2\} \tag{2}$$

40 En la que:

$J_{p,r}$ : momento de inercia polar dado por los dos vástagos de refuerzo;

$r$ : radio de cada uno de los vástagos de refuerzo; y

$y$ : distancia entre el eje geométrico del cable y el eje geométrico de los vástagos de refuerzo.

De lo cual se deriva que la rigidez a la torsión del cable y, por tanto, del momento y el trabajo correspondientes son bajos cuando las dos barras están próximas al eje geométrico del cable y cuando las barras tienen un diámetro reducido.

5 El Solicitante ha encontrado que el momento de inercia polar  $J_{p,r}$  debe ser, de modo preferente, inferior a aproximadamente  $20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$ , de modo más preferente inferior a  $10 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$ .

Con el fin de conseguir una elevada capacidad de soplado, tanto el trabajo de deformación de flexión como el trabajo de deformación de torsión deben ser reducidos al mínimo. El trabajo de deformación de flexión puede ser reducido al mínimo mediante la reducción del diámetro total del cable y el trabajo de deformación de flexión puede ser reducido al mínimo mediante la reducción del diámetro y / o de la distancia de los vástagos de refuerzo.

10 De acuerdo con los resultados obtenidos mediante las pruebas efectuadas por el Solicitante y llevadas a cabo en conductos con longitudes de hasta 500 m, el Solicitante ha encontrado que el cable 10 de fibra óptica que comprende una pluralidad de fibras ópticas de hasta 24 fibras debe, de modo preferente, ofrecer, además de una rigidez a la torsión del rango mencionado con anterioridad, las siguientes características:

- 15
- diámetro del cable: desde aproximadamente 3,0 mm a 6,0 mm, de modo preferente desde aproximadamente 4,0 mm a 5,0 mm y de modo más preferente desde aproximadamente 4,0 mm a 4,5 mm,
  - distancia desde los ejes geométricos de los vástagos longitudinales de refuerzo: entre aproximadamente 1,5 mm y 0,5 mm, de modo preferente entre aproximadamente 2,0 mm y 4,0 mm;
  - diámetro de los vástagos de modo preferente  $\leq$  aproximadamente 1 mm, de modo más preferente entre aproximadamente 0,4 y 0,7 mm;
- 20
- rigidez a la flexión de la estructura de cable en el plano en el que la flexión es inferior: entre aproximadamente  $0,01 \text{ Nm}^2$  y  $0,10 \text{ Nm}^2$ , de modo preferente entre aproximadamente  $0,01 \text{ Nm}^2$  y  $0,06 \text{ Nm}^2$ .

A continuación se ofrecen con detalle algunos resultados de pruebas.

### **Prueba 1**

25 La Prueba 1 fue realizada con un cable dieléctrico de fibras ópticas que comprende un tubo central que contiene 24 fibras ópticas, una camisa de plástico que rodea el tubo central, y un par de vástagos de GRP (Plástico de Refuerzo con Fibras de Vidrio) diametralmente opuestos, que se extienden en sentido lineal que fueron incrustados dentro de la camisa y en posición tangencial con respecto al tubo central. El diámetro total del cable fue de 4,1 mm; la camisa fue fabricada con HDPE (Polietileno de Alta Densidad); cada vástago del par de vástagos tenía un diámetro de 0,40 mm; y el tubo central estaba hecho de PBT con un diámetro exterior de ( $D_e$ ) = de aproximadamente 2,60 mm y un diámetro interior ( $D_i$ ) = de aproximadamente 1,95 mm. La distancia de eje a eje de los vástagos fue de 3 mm. El momento de inercia polar  $J_{p,r}$  del sistema de refuerzo de dos vástagos fue de  $0,570 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$ .

30

Un cable similar fue sometido a unas mediciones mecánicas tanto respecto de la rigidez de flexión y como de la torsión y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- 35
- rigidez a la flexión ( $E^* J_m$ ) medida en el plano que requiere la energía flexión inferior: aproximadamente  $0,0155 \text{ Nm}^2$ ;
  - rigidez a la flexión ( $E^* J_m$ ) medida en el plano ortogonal con respecto a la que exige la energía de flexión inferior: aproximadamente  $0,0330 \text{ Nm}^2$ ;
  - rigidez a la torsión ( $G^* J_p$ ): aproximadamente  $0,0053 \text{ Nm}^2$ ;
  - $(E^* J_m) / (E^* J_M)$ : aproximadamente 2,13.

40 Los datos experimentales anteriores han sido utilizados para simular y estimar el comportamiento del cable en términos de momento y del trabajo de deformación correspondiente cuando el cable es sometido, en una etapa de instalación por el interior de un tubo tortuoso a dos flexiones sucesivas sobre planos de flexión diferentes.

Se han considerado las siguientes condiciones:

- 45
- radio de flexión mínimo para el cable en condiciones dinámicas:  $R = 0,120 \text{ m}$  ( $R$  = aproximadamente 30 veces el diámetro del cable);
  - ángulo de rotación del plano de flexión:  $\varphi = 90^\circ$ ; y
  - distancia L (véase la Fig. 6); aproximadamente 0,50 m, aproximadamente 1,0 m, aproximadamente 1,5 m y aproximadamente 2,0 m.



El trabajo de deformación total requerido por el cable fue calculado e indicado, junto con el anterior y otros valores, en la tabla de abajo 1, en la que el trabajo se refiere a una longitud de 1 m de cable deformado:

**Tabla 1 – Cable  $\Phi = 4,1$  mm**

Rigidez a la flexión ( $E \cdot J_m$ ) [ $Nm^2$ ]	Momento de flexión (1ª y 2ª incurvaciones) $M_f = (E J_m) / R$ [Nm]	Trabajo de flexión total $L_f = 2 \cdot (M_f / R)$ [(Nm) / m]	Rigidez a la torsión ( $G \cdot J_p$ ) [ $Nm^2$ ]	L [m]	Momento de Torsión $M_t = (\varphi / l)$ ( $G \cdot J_p$ ) [(Nm) / m]	Trabajo de torsión $L_t = (1/2) (\varphi / l)$ $M_t$ [(Nm) / m]	Trabajo de deform. total $L_{tot} = L_f + L_t$ [(Nm) / m]
0,0155	0,1292	2,1553	0,0053	0,5	0,0167	0,0262	2,1795
				1,0	0,0083	0,0065	2,1598
				1,5	0,0056	0,0029	2,1562
				2,0	0,0042	0,0016	2,1549

5 Brevemente, con el fin de flexionar un cable de acuerdo con dos incurvaciones con un radio de 120 mm, situado sobre dos planos de flexión ortogonales a una distancia de 0,5 m uno respecto de otro, es necesario invertir, para cada metro de cable de avance, un trabajo de deformación total de aproximadamente 2,18 N · m (siendo aproximadamente 0,03 el trabajo de torsión adicional).

10 De lo expuesto puede, así mismo, advertirse que ( $L_f / L_t$ ) oscila desde aproximadamente 82 (cuando L = 0,5 m) y 1345 (cuando L = 2 m).

Con el cable de acuerdo con la presente invención, incluso bajo condiciones casi “extremas” (L = 0,5 m), el trabajo de deformación total,  $L_{tot}$  es bastante bajo (aproximadamente 2,18 Nm) y la contribución debida a la torsión es casi desdeñable (aproximadamente + 0,03 Nm).

15 El coeficiente elástico de cizalladura  $G_r$  de los vástagos GPR ha sido medido utilizando el procedimiento expuesto con referencia a la Fig. 6 y la relación:

$$G_r = \frac{M_t}{(\varphi / L) \cdot J_{p,r}}$$

20 Donde  $M_t = F \cdot l$  (siendo F la fuerza aplicada e l el brazo) y ( $\varphi / L$ ) es la torsión del cable por longitud unitaria. El  $G_r$  medido fue de  $5,9 \cdot 10^9$  N / m<sup>2</sup>.

La rigidez a la torsión teórica,  $G_T \cdot J_{p,r}$  del sistema de dos vástagos ha sido calculado. En la prueba 1,  $G_r \cdot J_{p,r}$  fue de 0,00336 Nm<sup>2</sup> que es muy próxima a la rigidez total de torsión del cable.

25 Un cable óptico de acuerdo con las características expuestas puede, entonces, ser instalado en un conducto real de la parte terminal de una red de acceso. El Solicitante ha verificado que un cable similar ofrecía unas prestaciones satisfactorias una vez instalado en conductos altamente tortuosos con un diámetro interior de tanto 5,5 como de 8,0 mm.

**Prueba 2**

30 La Prueba 2 fue realizada con un cable dieléctrico de fibras ópticas que comprende un tubo central que contiene hasta 24 fibras ópticas, una camisa de plástico que rodea el tubo central, y un par de vástagos de GRP diametralmente opuestos, que se extienden en sentido lineal, que fueron incrustados en la camisa y en posición tangencial con respecto al tubo central. El diámetro total del cable fue de 5,0 mm; la camisa fue fabricada con HDPE; cada vástago del par de vástagos tenía un diámetro de 0,70 mm; y el tubo central estaba hecho de PBT con un diámetro exterior ( $D_e$ ) = a aproximadamente 2,80 mm y un diámetro interior ( $D_i$ ) = a aproximadamente 2,00 mm. La distancia de eje a eje de los vástagos era de 3,5 mm. El momento de inercia polar,  $J_{p,r}$  del sistema de refuerzo de dos vástagos fue de  $2,404 \cdot 10^{-12}$  m<sup>4</sup>.

Un cable similar fue sometido a unas mediciones mecánicas respecto tanto de la rigidez a la flexión como a la torsión y se obtuvieron los siguientes resultados:

- rigidez a la flexión ( $E \cdot J_m$ ) medida en el plano que requiere la energía de flexión menor: aproximadamente 0,041 Nm<sup>2</sup>;

## ES 2 386 434 T3

- rigidez a la flexión ( $E^* J_M$ ) medida en el plano ortogonal al que requiere la energía de flexión menor: aproximadamente  $0,108 \text{ Nm}^2$ ;
- rigidez a la torsión ( $G^* J_p$ ): aproximadamente  $0,0137 \text{ Nm}^2$ ;
- $(E^* J_m) / (E^* J_M)$ : aproximadamente 2,63.

5 Los datos experimentales expuestos han sido utilizados para simular y estimar el comportamiento del cable en términos de momento y del correspondiente trabajo de deformación cuando el cable es sometido, durante la etapa de instalación por el interior de un tubo tortuoso, a dos flexiones sucesivas sobre planos de flexión diferentes.

Se tomaron en consideración las siguientes condiciones:

- 10 - radio de flexión para el cable en condiciones dinámicas :  $R = 0,125 \text{ m}$  ( $R =$  aproximadamente 25 veces el diámetro del cable);
- ángulo de rotación del plano de flexión:  $\varphi = 90^\circ$  ; y
- distancia L (véase la Fig. 6): aproximadamente 0,50 m, aproximadamente 1,0 m, aproximadamente 1,5 m, y aproximadamente 2,0 m.

15 El trabajo de deformación total requerido por el cable ha sido calculado e indicado, junto con los anteriores y otros valores, en la tabla inferior 2, en la que el trabajo se refiere a una longitud de 1 m de cable deformado:

**Tabla 2 – Cable  $\Phi = 5,0 \text{ mm}$**

Rigidez a la flexión $(E \cdot J_m) \text{ [Nm}^2\text{]}$	Momento de flexión (1ª y 2ª incurvaciones) $M_f = (E \cdot J_m) / R \text{ [Nm]}$	Trabajo de flexión total $L_f = 2 \cdot (M_f / R) \text{ [(Nm) / m]}$	Rigidez a la torsión $(G \cdot J_p) \text{ [Nm}^2\text{]}$	L [m]	Momento de Torsión $M_t = (\varphi / l) (G \cdot J_p) \text{ [Nm]}$	Trabajo de torsión $L_t = (1/2) (\varphi / l) M_t \text{ [(Nm) / m]}$	Trabajo de deform. total $L_{tot} = L_f + L_t \text{ [(Nm) / m]}$
0,041	0,328	5,248	0,0137	0,5	0,0430	0,0675	5,316
				1,0	0,0215	0,0169	5,265
				1,5	0,0143	0,0075	5,255
				2,0	0,0108	0,0042	5,252

20 Brevemente, con el fin de incurvar un cable de acuerdo con dos incurvaciones con un radio de 125 mm, situadas sobre dos planos de flexión ortogonales a una distancia de 0,5 m uno respecto de otro, es necesario invertir, para cada metro de cable de avance un trabajo de deformación total de aproximadamente  $5,32 \text{ N} \cdot \text{m}$  (siendo aproximadamente 0,07 el trabajo de torsión adicional).

A partir de lo anterior se apreció, así mismo, que  $(L_f / L_t)$  oscila entre aproximadamente 77 (cuando  $L = 0,5 \text{ m}$ ) y 11250 (cuando  $L = 2 \text{ m}$ ).

25 Con el cable de acuerdo con la presente invención, incluso bajo condiciones casi “extremas” ( $L = 0,5 \text{ m}$ ) el trabajo de deformación total,  $L_{tot}$  fue bastante bajo (aproximadamente  $5,316 \text{ Nm}$ ) y la contribución debida a la torsión fue casi desdeñable (aproximadamente  $+ 0,07 \text{ Nm}$ ).

El coeficiente elástico de cizalladura de los vástagos de GPR es de (como se explicó en la Prueba 1)  $5,9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2$ .

La rigidez a la torsión teórica  $G^* J_{p,r}$ , fue entonces calculada. En la prueba 2,  $G^* J_{p,t}$  fue de  $0,01419 \text{ Nm}^2$  la cual es muy próxima a la rigidez de torsión de todo el cable.

30 Un cable óptico de acuerdo con las características expuestas fue finalmente instalado en un conducto real de la parte terminal de una red de acceso. El Solicitante ha verificado que un cable similar ofrecía prestaciones satisfactorias cuando fue instalado en conductos altamente tortuosos con un diámetro de aproximadamente 8,0 mm.

### **Prueba 3**

35 La Prueba 3 fue realizada con un cable dieléctrico de fibras ópticas que comprende un tubo central que contiene una pluralidad de fibras ópticas, una camisa de plástico que rodea el tubo central, y un par de vástagos de GRP diametralmente opuestos, que se extienden en sentido lineal que están al menos parcialmente incrustados en la camisa y en posición tangencial con respecto al tubo central. El diámetro total del cable era de 13,2 mm; la camisa estaba fabricada con HDPE; cada vástago del par de vástagos presentaba un diámetro de 1,60 mm; y el tubo central

## ES 2 386 434 T3

estaba hecho de MDTE con un diámetro exterior ( $D_e$ ) = a aproximadamente 8,40 mm y un diámetro interior ( $D_i$ ) = a aproximadamente 6,40 mm. La distancia de eje a eje de los vástagos era de 10 mm. El momento de inercia polar,  $J_{p,r}$ , del sistema de refuerzo de los vástagos era de  $101,8 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$ .

5 Un cable similar fue sometido a unas mediciones mecánicas tanto para la rigidez de flexión como de torsión y se obtuvieron los siguientes resultados:

- rigidez a la flexión ( $E^* J_m$ ) medida en el plano que requiere la energía de flexión menor: aproximadamente  $1,71 \text{ Nm}^2$ ;
- rigidez a la flexión ( $E^* J_M$ ) medida en el plano ortogonal al que requiere la energía de flexión menor: aproximadamente  $5,74 \text{ Nm}^2$ ;

10 - rigidez a la torsión ( $G^* J_p$ ): aproximadamente  $0,51 \text{ Nm}^2$ ;

- ( $E^* J_m$ ) / ( $E^* J_M$ ): aproximadamente 3,36.

Los datos experimentales expuestos fueron utilizados para simular y estimar el comportamiento del cable en términos de momento y del trabajo de deformación correspondiente cuando el cable es sometido, durante la etapa de instalación dentro de un tubo tortuoso, a dos flexiones sucesivas sobre planos de flexión diferentes.

15 Se tomaron en consideración las siguientes condiciones:

- radio de flexión para el cable en condiciones dinámicas :  $R = 0,270 \text{ m}$  ( $R$  = aproximadamente 20 veces el diámetro del cable);
- ángulo de rotación del plano de flexión:  $\varphi = 90^\circ$  ; y
- distancia L (véase la Fig. 6): aproximadamente 0,50 m, aproximadamente 1,0 m, aproximadamente 1,5 m, y aproximadamente 2,0 m.

20

El trabajo de deformación total requerido por el cable fue calculado e indicado, junto con los anteriores y otros valores, en la tabla inferior 3, en la que el trabajo se refiere a una longitud de 1 m de cable deformado:

**Tabla 3 – Cable  $\Phi = 13,2 \text{ mm}$**

Rigidez a la flexión ( $E \cdot J_m$ ) [ $\text{Nm}^2$ ]	Momento de flexión (1ª y 2ª incurvaciones) $M_f = (E J_m) / R$ [ $\text{Nm}$ ]	Trabajo de flexión total $L_f = 2 \cdot (M_f / R)$ [(Nm) / m]	Rigidez a la torsión ( $G \cdot J_p$ ) [ $\text{Nm}^2$ ]	L [m]	Momento de Torsión $M_t = (\varphi / l)$ ( $G \cdot J_p$ ) [(Nm) / m]	Trabajo de torsión $L_t = (1/2) (\varphi / l)$ $M_t$ [(Nm) / m]	Trabajo de deform. total $L_{tot} = L_f + L_t$ [(Nm) / m]
1,71	6,33	46,89	0,51	0,5	1,60	2,51	49,4
				1,0	0,80	0,63	47,5
				1,5	0,53	0,26	47,3
				2,0	0,40	0,16	47,1

25 Brevemente, con el fin de doblar un cable de acuerdo con dos incurvaciones con un radio de 270 mm, situadas sobre dos planos de flexión ortogonales a una distancia de 0,5 m uno con respecto al otro, fue necesario invertir, para cada metro de cable de avance, un trabajo de deformación total de aproximadamente  $49,4 \text{ N} \cdot \text{m}$  (siendo aproximadamente 2,51 el trabajo de torsión adicional).

30 De lo expuesto se advierte, así mismo, que ( $L_f / L_t$ ) oscila entre aproximadamente 19 (cuando  $L = 0,5 \text{ m}$ ) y 293 (cuando  $L = 2 \text{ m}$ ).

En este cable de gran tamaño el trabajo de deformación total  $L_{tot}$  es bastante alto (aproximadamente  $49,4 \text{ N} \cdot \text{m}$ ) y la contribución debida a la torsión no es desdeñable (aproximadamente + 2,51 Nm).

El coeficiente elástico de cizallamiento,  $G_r$ , de los vástagos de GPR es (de acuerdo con lo expuesto en la Prueba 1)  $5,9 \cdot 10^9 \text{ N} / \text{m}^2$ .

35 La rigidez a la torsión teórica  $G_r \cdot J_{p,r}$  ha sido, a continuación, calculada. En la prueba 3,  $G_r \cdot J_{p,r}$  fue de  $0,60072 \text{ Nm}^2$  la cual es muy próxima a la rigidez a la torsión total del cable.

Un cable óptico de acuerdo con las características expuestas fue instalado en un conducto real de la parte terminal de una red de acceso.

El solicitante ha verificado que un cable similar experimentaba unas prestaciones bastante deficientes cuando estuvo instalado en conductos altamente tortuosos.

- 5 De esta manera, se ha mostrado y descrito un cable óptico de comunicación novedoso que satisface todos los objetivos y ventajas que se perseguían en relación con el mismo. Muchos cambios, modificaciones, variantes y otros usos de aplicaciones de la invención sometida, se pondrán, sin embargo, de manifiesto a los expertos en la materia después de la consideración de la memoria descriptiva y de los dibujos que se acompañan los cuales divulgan formas de realización preferentes de la misma. Todos los referidos cambios, modificaciones, variantes y otros usos de aplicaciones que no se aparten del alcance de la invención se consideran que están amparados por la invención,
- 10 la cual está únicamente limitada por las reivindicaciones que siguen.

Por ejemplo, aunque la descripción anterior se refiere a un cable eléctrico óptico, la presente invención puede ser aplicada también a un cable provisto de unos vástagos de resistencia mecánicas.

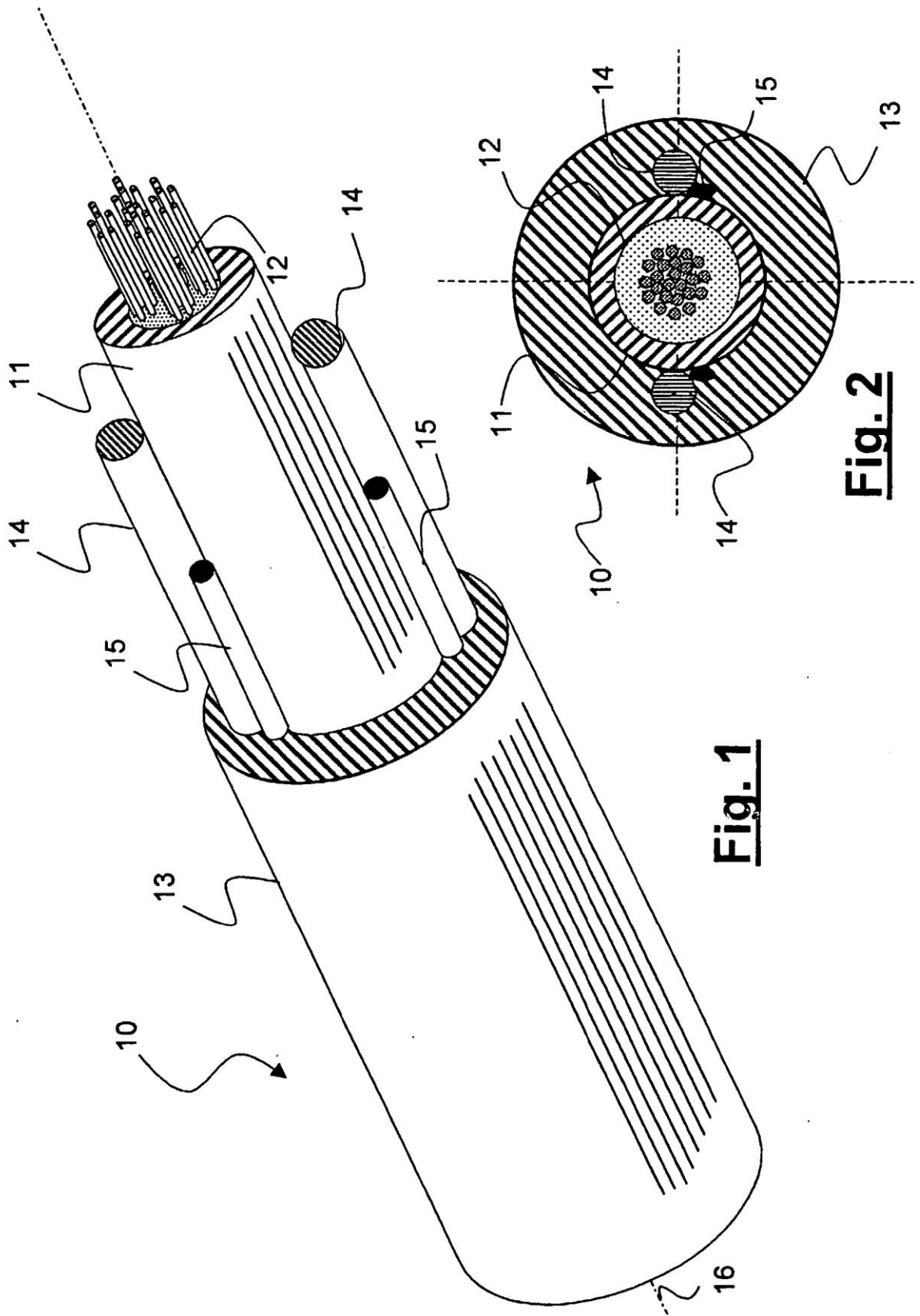
- 15 Así mismo, aunque la presente invención ha sido descrita con referencia a un cable que incluye dos vástagos de resistencia, se puede apreciar que la invención puede ser aplicada a cualquier cable que incorpore un número diferente de vástagos de resistencia, con tal de que el cable tenga una estructura asimétrica y, en particular, un plano de flexión preferencial.

El cable podría incorporar a cada lado un número de vástagos mayor de dos, de modo preferente, adyacentes entre sí.

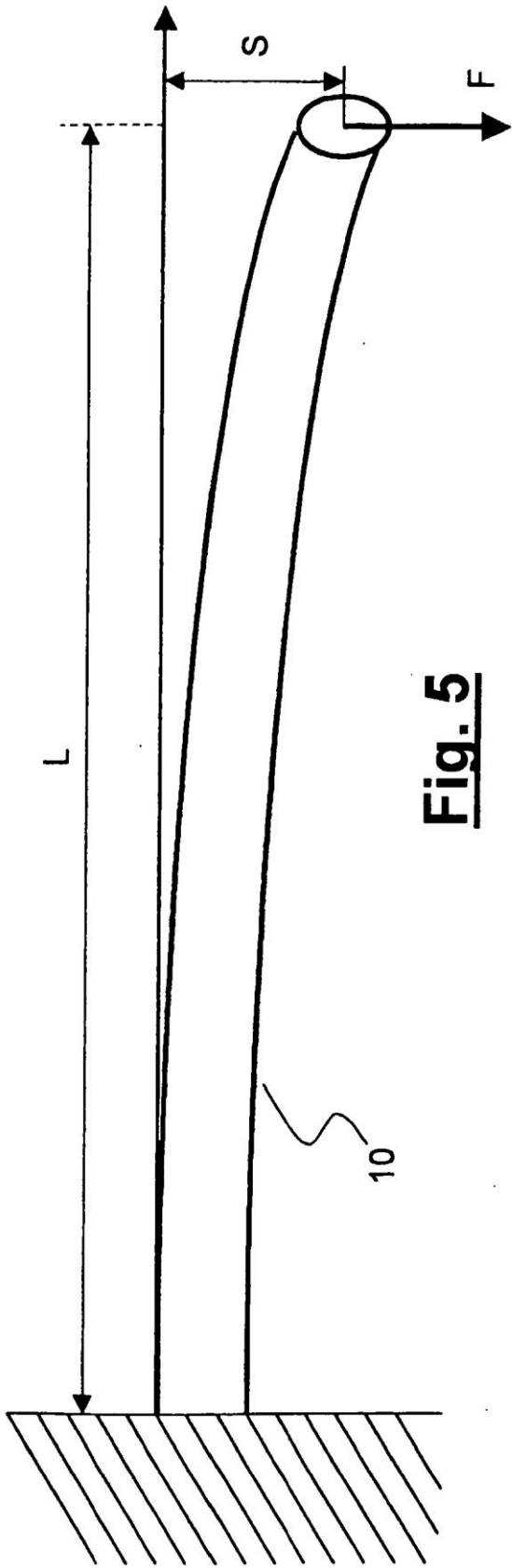
- 20 Aunque los vástagos están, de modo preferente, situados en posición tangencial con respecto al tubo central y están, al menos parcialmente, incrustados en la camisa, en formas de realización preferentes, los vástagos pueden, al menos parcialmente, estar incrustados en el tubo central, tal y como se describe en el documento US 677738.

**REIVINDICACIONES**

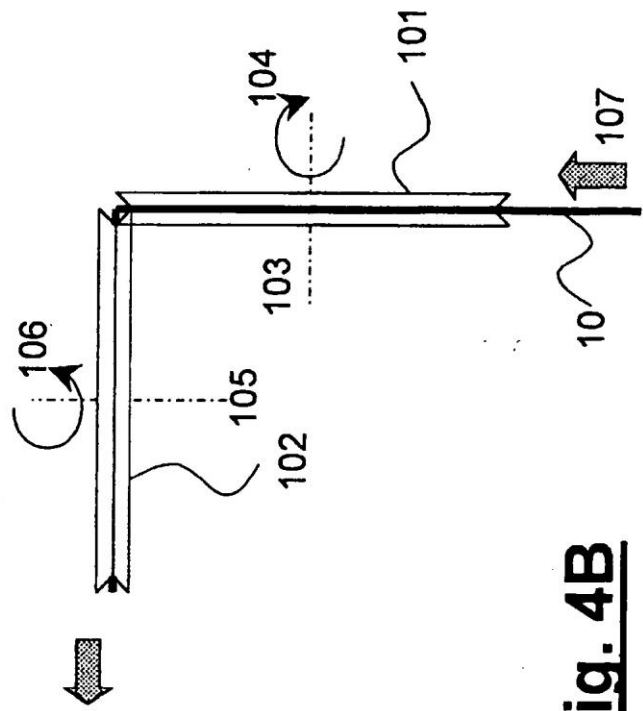
- 1.- Cable (10) de fibra óptica que tiene un eje geométrico central (16) y que comprende:
- una pluralidad de fibras ópticas (12);
  - al menos un tubo central (11) que contiene las fibras ópticas;
  - 5 una camisa (13) que rodea al tubo central (11); y
  - al menos dos vástagos de refuerzo (14), diametralmente opuestos, que se extienden en sentido lineal separados del eje geométrico central (16),
  - de forma que dichos vástagos de refuerzo están, al menos parcialmente, incrustados en la camisa (13),
  - 10 en el que una distancia de los ejes geométricos de los vástagos de refuerzo (14) oscila entre 1,5 y 5,0 mm, en el que los vástagos de refuerzo (14) tienen un diámetro inferior o igual a 1 mm, y en el que la camisa (13) tiene un diámetro exterior de 3 mm a 6 mm,
  - de forma que el cable tiene una rigidez a la torsión  $G * J_p$ , en la que G es el coeficiente elástico de cizallamiento; y  $J_p$  es el momento polar de inercia de una sección de cable, siendo la rigidez a la torsión  $G * J_p$  inferior o igual a 0,10 Nm<sup>2</sup>.
- 15 2.- Cable óptico (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la rigidez a la torsión  $G * J_p$  es inferior o igual a 0,05 Nm<sup>2</sup>.
- 3.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la rigidez a la torsión  $G * J_p$  es inferior a o igual a 0,02 Nm<sup>2</sup>.
- 20 4.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el momento de inercia polar proporcionado por los vástagos de refuerzo  $J_{p,r}$  es inferior a  $20 * 10^{-12}$  m<sup>4</sup>.
- 5.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el momento de inercia polar proporcionado por los vástagos de refuerzo  $J_{p,r}$  es inferior o igual a  $10 * 10^{-12}$  m<sup>4</sup>.
- 25 6.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que, cuando el cable es guiado sobre una trayectoria constituida por dos incurvaciones separadas por 0,5 m, dispuestas sobre planos ortogonales y que presentan un radio de flexión de acuerdo con el radio de flexión dinámica mínimo prescrito para el cable, la relación ( $L_f / L_t$ ) entre el trabajo de flexión ( $L_f$ ) para hacer flexionar el cable de fibra óptica alrededor de dos incurvaciones y el trabajo de torsión ( $L_t$ ) para torcer el cable entre las dos incurvaciones es mayor de 30, de modo preferente, mayor de 50, de modo más preferente mayor de 80, y aún de modo más preferente mayor de 90.
- 30 7.- El cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que este comprende una placa de flexión inferior y en el que una rigidez a la flexión  $E * J$  de la estructura de cable en el plano de flexión inferior oscila entre aproximadamente 0,01 Nm<sup>2</sup> y 0,10 Nm<sup>2</sup>, de modo preferente entre aproximadamente 0,01 Nm<sup>2</sup> y 0,06 Nm<sup>2</sup>.
- 8.- El cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la distancia recíproca de los ejes geométricos de los vástagos de refuerzo oscila entre 2,0 Nm y 4,0 Nm.
- 35 9.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que los vástagos de refuerzo (14) tienen un diámetro de entre 0,4 mm y 0,7 mm.
- 10.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la camisa (13) tiene un diámetro exterior de 4,0 mm a 5,0 mm y de modo más preferente de 4,0 a 4,5 mm.
- 40 11.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que al menos un vástago de refuerzo (14) comprende un Plástico Reforzado con Fibras de Vidrio.
- 12.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que al menos un vástago de refuerzo comprende un Plástico Reforzado con Aramida.
- 13.- Cable óptico (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que al menos un vástago de refuerzo (14) comprende unas hebras filamentosas de fibras de vidrio y / o aramida.





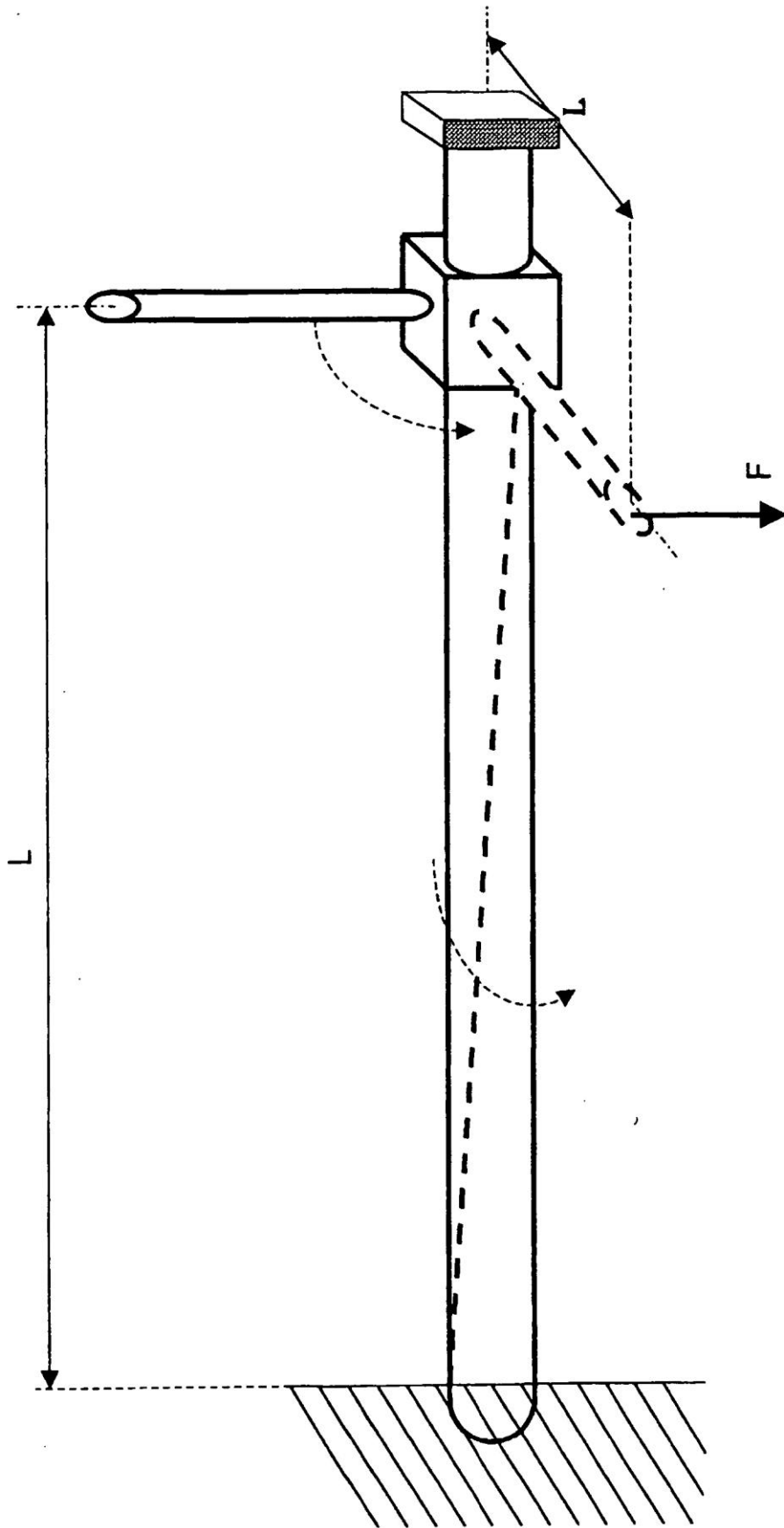


**Fig. 5**



**Fig. 4B**





**Fig. 6**