

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 372 598**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03756473 .9**

96 Fecha de presentación: **30.09.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1668392**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.06.2006**

54 Título: **CABLE ÓPTICO DE DIÁMETRO REDUCIDO EN TUBOS DE TELECOMUNICACIONES.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.01.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.01.2012

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

72 Inventor/es:
PIZZORNO, Massimo;
GINOCCHIO, Alessandro y
CONSONNI, Enrico

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 372 598 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 óptico de diámetro reducido en tubos de telecomunicaciones

La presente invención versa acerca de cables ópticos de telecomunicaciones y, en particular, versa acerca de un cable óptico de telecomunicaciones que tiene un diámetro muy reducido, que es particularmente adecuado para ser instalado en conductos por medio de un "procedimiento de soplado".

Las redes de telecomunicaciones de acceso y troncales fabricadas de hilos de cobre están siendo sustituidas por redes de fibra óptica en vista de su gran capacidad de ancho de banda. Dado que la sustitución está sujeta a las solicitudes efectivas de los clientes finales y resulta muy cara para el proveedor de telecomunicaciones, algunos proveedores suelen disponer una red constituida únicamente por conductos elásticos vacíos e instalan cables de fibra óptica en los conductos solo cuando se han recibido las debidas solicitudes de los clientes. En zonas metropolitanas en las que el espacio disponible es normalmente limitado, se solicitan cables de diámetro reducido con una potencialidad óptica mediana o elevada (en términos de número de fibras) para los enlaces principales de la red. Por lo general, se solicita un cable óptico habitual para los enlaces principales de la red que tenga un número de fibras no menor de 48, típicamente de 72.

Una técnica adecuada para instalar estos cables ópticos en los conductos es el "procedimiento de soplado": el cable de fibra óptica es impulsado a lo largo del conducto por arrastre fluido de un medio gaseoso, preferentemente aire, soplado a lo largo del conducto en la dirección deseada de avance del cable. Se considera que los procedimientos de soplado resultan ventajosos en rutas largas y cortas debido al menor coste, al tiempo breve y a la baja tensión sobre el cable. Varias características afectan el rendimiento del soplado de un cable. Tales características comprenden: el diámetro interno del conducto, la "tortuosidad" del recorrido de la instalación y las características del cable (incluyendo las dimensiones, la rigidez mecánica y el peso del cable).

Las estructuras de cable empleadas principalmente para la instalación por soplado en conductos para formar los enlaces principales de la red son la de multitubo holgado (MLT), la de cinta en alma ranurada (RISC) y la de tubo holgado central (CLT). A su vez, los cables de CLT pueden ser del tipo "haz de fibras" o del tipo "micromódulo".

Un cable típico de MLT comprende: un miembro central de refuerzo que tiene una rigidez compresiva que es efectiva para inhibir la contracción sustancial del cable y la rigidez a la tracción que contribuye parcial o completamente a soportar cargas de tracción sin transferencia sustancial de cargas de tracción a las fibras ópticas cableadas; varios tubos dispuestos alrededor del miembro central de refuerzo y que contienen fibras ópticas colocadas con holgura; una capa de refuerzo mecánico, por ejemplo un hilo fabricado de vidrio o de un material de aramida dispuesto alrededor de los tubos, si es necesario, para que el cable soporte cargas de tracción; y una camisa protectora exterior. Típicamente, los tubos que contienen las fibras ópticas están trenzados en torno al miembro central de refuerzo según una espiral unidireccional o una espiral bidireccional (SZ).

Un cable típico de RISC incluye un alma termoplástica cilíndrica extrudida en torno a un miembro central de refuerzo y que tiene una pluralidad de ranuras en espiral en su superficie exterior. Cada ranura alberga una pila de cintas de fibra óptica que tienen en su interior un conjunto plano de fibras ópticas. El alma ranurada está rodeada de capas de refuerzo mecánico y una vaina, según se describe para los cables de MLT.

Un cable típico de CLT comprende: un tubo central que contiene fibras ópticas, una camisa de plástico que rodea el tubo central y un par de varillas dieléctricas de refuerzo diametralmente opuestas que se extienden linealmente que están embebidas, al menos parcialmente, en la camisa. Las varillas de refuerzo tienen la misma función que el miembro de refuerzo del cable de MLT descrito más arriba.

La mayoría de los cables terrestres existentes que tienen una potencialidad mediana o elevada en términos del número de fibras no está optimizada para ser instalada por soplado en tubos miniaturizados y no permite aprovechar todas las ventajas técnicas y económicas del procedimiento de instalación de cables por soplado.

Así, el solicitante ha percibido la necesidad de proporcionar cables ópticos de peso ligera y diámetro muy reducido para ser instalados con provecho en conductos de diámetro muy pequeño por medio del procedimiento de instalación por soplado.

El solicitante se ha centrado en los cables de MLT con el objeto principal de reducir el diámetro de los mismos.

M. G. Soltis, et al., "Next Generation Loose Tube Cables: Reduce The Size, Not The Performance", Proceedings of the 49th International Wire & Cable Symposium, pp. 155-163, exponen diversas consideraciones de diseño y diferentes etapas de desarrollo que llevan a una familia de cables de tubos holgados de tamaño reducido con rendimiento comparable al de diseños mayores. En lo que se refiere a los tubos que contienen las fibras, únicamente se han abordado los problemas relativos al EFL (exceso de longitud de la fibra). Por último, se presentó un cable óptico que tiene las siguientes características: número de fibras ópticas: 72; número de tubos: 6, fibras por tubo: 12; diámetro del cable: 10,7 mm; y densidad de la fibra: 0,81 fibras/mm². Según el solicitante, un cable similar es

inadecuado para su instalación por medio de técnicas de soplado en infraestructuras de tubos miniaturizados adecuados para las zonas metropolitanas.

5 P. Gaillard, et al., "Optimization Of Loose Tube Cable Designs: The Next Step", International Wire & Cable Symposium Proceedings 1998, pp. 106-111, dan a conocer cómo reducir el tamaño del cable y los costes de instalación del cable para cables tanto de MTL como de CLT. Según esta monografía, los diseños optimizados de los cables son:

– Cable de MLT: número de fibras: 60; diámetro del cable: 8,2 mm.

– Cable de CLT: número de fibras: 72; diámetro del cable: 7,92 mm.

10 Los diámetros nominales del cable llevan a una densidad de la fibra cableada de aproximadamente 1,15 a 1,47 fibras/mm². En el cable según P. Gaillard, et al., el diámetro exterior del tubo es similar a los tamaños existentes, mientras que la vaina del cable se ha reducido cuanto ha sido posible. Así, P. Gaillard et al. no describen ni sugieren un aumento de la densidad de las fibras en los tubos holgados.

15 El documento MiDia® FX Cable Brochure, al que se puede acceder de la página electrónica de OFS http://65.82.128.141/product_info/ofs-airblowncable.shtml, da a conocer un cable multitubo holgado con diámetro reducido para la instalación por soplado de aire.

El documento "Time and temperature dependent material behaviour and its impact on low-temperature performance of fiber optic cables", de O. S. Gebizlioglu, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol. 531, abril de 1998, pp. 333-345, XP00803458, da a conocer el impacto del material usado comúnmente para tubos flexibles en la pérdidas por microcurvatura de un cable multitubo holgado.

20 El documento US 6.424.770 describe un cable óptico con un alma del cable compuesta de una multiplicidad de elementos de trenzado y una capa de vaina exterior, teniendo los elementos de trenzado una multiplicidad de haces dispuestos con holgura en una primera vaina.

25 El documento US 5.104.433 da a conocer un procedimiento de fabricación de un medio de transmisión por fibra óptica que incluye fibra óptica dotada de un sistema de recubrimiento que incluye típicamente dos capas, siendo cada una de un material de revestimiento diferente.

En el intento de reducción de las dimensiones de los cables de MLT, el solicitante consideró la posibilidad de reducir el diámetro de los tubos holgados.

30 El solicitante llevó a cabo algunas pruebas y observó que los cables de MLT, cuando se reduce el diámetro de los tubos holgados, están sujetos a varios problemas, incluyendo los dos siguientes. En primer lugar, al reducir el diámetro del tubo holgado, el espacio para las fibras ópticas se reduce en consecuencia. En otras palabras, la distancia entre fibras se hace menor y la distancia entre la fibra y el tubo se hace menor también. En segundo lugar, usar tubos holgados que tienen un diámetro reducido con respecto a los tubos estándar da como resultado márgenes reducidos de seguridad en la Ventana Libre de Fatiga (SFW). En este sentido, debería tenerse en cuenta que, típicamente, el procedimiento de entubado de las fibras permite obtener un valor nominal de EFL con una tolerancia mínima de $\pm 0,05\%$ y que el solicitante considera que esta tolerancia del EFL es crítica (demasiado grande) para realizar cables de MLT muy miniaturizados con rendimientos de transmisión estables y regulares.

35 El solicitante se percató de que la reducción del tamaño de los tubos holgados da como resultado problemas de microcurvatura que, a su vez, dan como resultado atenuaciones mayores de las señales transmitidas. El solicitante también condujo varias pruebas y llegó a la conclusión de que puede obtenerse un cable óptico de MLT muy miniaturizado reduciendo el diámetro de la varilla central, el diámetro exterior de los tubos holgados junto con su espesor y tanto el diámetro como el espesor de la camisa exterior. Aunque tales reducciones de todo el diámetro del cable y de los diámetros del tubo holgado dan como resultado densidades mayores de la fibra, el solicitante se percató de que los efectos negativos causados por el aumento de densidad de la fibra dentro de los tubos holgados pueden ser eliminados o, al menos, atenuados proporcionando fibras ópticas que tengan una sensibilidad a la microcurvatura $\leq 4,0 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1} / \text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$ en un intervalo de temperaturas entre aproximadamente -30°C y $+60^\circ\text{C}$ a 40 1550 nm y tubos que comprendan un material que tenga un módulo de elasticidad $\geq 700 \text{ MPa}$. En la presente descripción y las presentes reivindicaciones, se entiende por "sensibilidad a la microcurvatura" la sensibilidad a la microcurvatura medida enrollando con tensión nula una longitud de 500 m de fibra sobre una bobina metálica de 300 mm recubierta de un material de 3M Imperial® PSA de 40 μm de espesor y expandiendo la bobina mientras se 45 monitoriza la pérdida de transmisión de la fibra en función de la longitud de onda y la deformación de la fibra.

50 La presente invención, tal como es definida por la reivindicación 1, proporciona un cable de fibra óptica que comprende: un miembro central de refuerzo; un número de tubos que contienen fibras ópticas; y una camisa protectora exterior; en el que el coeficiente de llenado de fibras ópticas en al menos uno de dichos tubos holgados es $\geq 45\%$; los tubos comprenden un material que tiene un módulo de elasticidad $\geq 700 \text{ MPa}$; y las fibras ópticas

tienen una sensibilidad a la microcurvatura $\leq 4,0 \text{ dB}\cdot\text{km}^{-1} / \text{g}\cdot\text{mm}^{-1}$ en un intervalo de temperaturas de -30°C a $+60^\circ\text{C}$ a 1550 nm . Las fibras ópticas están dispuestas con holgura.

Típicamente, las fibras ópticas son fibras monomodo, SM, o monomodo reducido, SM-R.

5 Más preferentemente, los tubos comprenden un material que tiene un módulo de elasticidad $\geq 800 \text{ MPa}$, aún más preferentemente $\geq 1000 \text{ MPa}$.

Preferentemente, las fibras ópticas comprenden una capa de revestimiento interno de un material que tiene un módulo elástico inferior a 200 MPa cuando se mide a -30°C e inferior a 2 MPa cuando se mide a una temperatura entre $+20^\circ\text{C}$ y $+60^\circ\text{C}$.

10 Más preferentemente, las fibras ópticas comprenden una capa de revestimiento interno de un material que tiene un módulo elástico inferior a 80 MPa cuando se mide a -30°C , aún más preferentemente entre 20 y 60 MPa .

Preferentemente, las fibras ópticas comprenden una capa externa de revestimiento coloreado en masa.

Preferentemente, el coeficiente de llenado de fibras ópticas en al menos un tubo holgado es $\geq 50\%$.

Preferentemente, los tubos están fabricados de un material seleccionado del grupo constituido por: tereftalato de polibutileno, polietileno de alta densidad, polietileno de densidad media y polietileno de baja densidad.

15 Preferentemente, los tubos tienen un diámetro interno \leq a aproximadamente $1,25 \text{ mm}$, más preferentemente $\leq 1,20 \text{ mm}$.

Preferentemente, el diámetro externo de las fibras ópticas coloreadas es de $0,245 \text{ mm}$.

Preferentemente, el diámetro externo del cable es $\leq 7,0 \text{ mm}$, más preferentemente $\leq 6,0 \text{ mm}$, con un número de fibras ópticas ≥ 72 .

20 Preferentemente, la camisa exterior está fabricada de un material seleccionado del grupo constituido por: poliamida 12, polietileno de alta densidad, polietileno de densidad media y polietileno de baja densidad; aún más preferentemente, está fabricada de un compuesto de poliamida 12 cargada con grafito.

La presente invención se aclarará más plenamente después de la lectura de la siguiente descripción detallada y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 25
- la Fig. 1 muestra una sección transversal de un cable óptico según la presente invención;
 - la Fig. 2 muestra una sección transversal ampliada de una fibra óptica usada en el cable de la Fig. 1; y
 - la Fig. 3 muestra una sección transversal ampliada de una fibra óptica que puede ser usada con mayor provecho en el cable de la Fig. 1.

30 Con referencia a la Fig. 1, un cable 1 de multitubo holgado (MLT) comprende: un miembro central 2 de refuerzo; un número de tubos 3 dispuestos en torno al miembro central 2 de refuerzo y que alojan fibras ópticas 4 colocadas con holgura; una capa 5 de refuerzo mecánico (si es necesaria para soportar la carga de tracción del cable), por ejemplo un hilo fabricado de vidrio o de un material de aramida dispuesto alrededor de los tubos; y una camisa protectora exterior 6 que rodea la capa de refuerzo

35 Los tubos 3 que contienen las fibras ópticas 4 están típicamente trenzados en torno a la varilla central 2 según una espiral unidireccional o una espiral bidireccional (SZ). Los tubos trenzados 3 y la varilla central encerrada entre ellos definen lo que se denomina “núcleo del tubo trenzado”. Preferentemente, los tubos 3 están rellenos de gelatina 7 o similar. De forma alternativa, el tubo 3 puede rellenarse con agentes higroexpansores, como polvos o filamentos. De manera similar, los intersticios entre la varilla central 2, los tubos 3 y la camisa exterior 6 se rellenan de agentes higroexpansores 8, como polvos o filamentos, y puede disponerse al menos un hilo higroexpansor 10 alrededor de la

40 varilla central 2 o alrededor del haz de tubos 3. Por último, preferentemente, se proporcionan una o dos cuerdas 9 de abertura.

Tal como se aclarará, el cable 1 según la presente invención, teniendo en cuenta su reducidísimo tamaño, puede definirse como cable de “tubo semiholgado” en vez de cable de “tubo holgado”.

45 El solicitante llevó a cabo varias pruebas, partiendo de un cable óptico comparativo de MLT de un tipo conocido que se describe en la Tabla 1 a continuación, con el objeto de reducir el tamaño al máximo posible y hacer el cable adecuado para la instalación por soplado. Este cable será identificado como “primer cable comparativo”. El primer cable comparativo incluye 72 fibras distribuidas de forma homogénea en seis tubos 3.

Tabla 1

- Primera estructura comparativa de cable -	
Diámetro de la varilla central [mm]	2,6
Diámetro exterior/interior de los tubos holgados [mm / mm]	2,50/1,80
Diámetro exterior de la fibra óptica coloreada con tinta [mm]	0,255
Diámetro de un haz de doce fibras [mm]	1,034
Paso del trenzado de los tubos 3 [mm]	90
Diámetro exterior del núcleo del tubo trenzado [mm]	7,60
Espesor de la camisa [mm]	1,5
Material de la camisa	LDPE
Diámetro exterior del cable [mm]	10,7
SFW _{tot} [%]	0,95
Intervalo operativo de temperaturas del cable [°C]	-40 a +70
Variación máxima $\Delta\alpha_{\max}$ de la atenuación	$\leq 0,05$ dB/Km a 1550 nm
Radio de curvatura de las fibras cableadas: cable recto [mm]	65 (mín.) 83 (med.) 117 (máx.)
Índice de resistencia a la fuerza de aplastamiento de tubos 3 [(espesor / radio medio) ³]	$\sim 3,4 \cdot 10^{-2}$
Espacio radio entre el tubo holgado 3 y el haz de fibras	
- Diferencia entre diámetros [mm]	0,776
- Proporción entre diámetros	1,74
Coefficiente de llenado de fibras ópticas en el tubo holgado [%]	24,1
Densidad de fibra dentro de un tubo holgado [fibras / mm ²]	4,71
Densidad de fibra dentro de un cable [fibras / mm ²]	0,80

5 SFW, Ventana Libre de Fatiga (SFW_{tot} = SFW_{tracción} + SFW_{compresión}), representa la máxima cantidad de variación de la dimensión longitudinal del eje del cable (debida tanto a la contracción/expansión térmica como a la extensión mecánica) que no somete a las fibras del cable a condiciones de fatiga (tensión en el caso de la elongación del cable, pandeo en el caso de la contracción del cable). La SFW total es una función de la geometría del cable; el reparto de la SFW total en SFW_{tracción} y SFW_{compresión} es una función del EFL (exceso de longitud de la fibra). Dentro del valor máximo de tal variación de la dimensión longitudinal (SFW), las fibras ópticas cableadas no son congruentes con la estructura del cable; manteniendo su configuración espiral, las fibras están libres para moverse, principalmente en una dirección radial. El movimiento de las fibras será hacia el eje neutral del cable en el caso de la elongación del cable y hacia la dirección opuesta en el caso de la compresión del cable.

10 Para los fines de la presente invención, el "coeficiente de llenado de un tubo holgado" es la proporción entre el área total de todas las fibras ópticas que forman el haz de fibras y el área interior de la sección transversal de un tubo holgado. A su vez, el área total de todas las fibras ópticas que forman un haz de fibras es el área de una sola fibra óptica multiplicada por el número de fibras en el haz.

15 Para los fines de la presente invención, la "densidad de fibra dentro de un tubo holgado" es la proporción entre el número de fibras en un haz y el área interior de la sección transversal de un tubo holgado.

Por último, para los fines de la presente invención, la "densidad de fibra dentro de un cable" es la proporción entre el número de fibras ópticas en el cable y el área de la sección transversal del cable.

20 El primer cable comparativo estaba dotado de fibras ópticas típicas, identificadas como fibras ópticas de "tipo A" (o, simplemente, como fibras "A") en la parte restante de esta descripción. Con referencia a la Fig. 2, la fibra "A" comprende una porción central 4C de vidrio definida por un alma de vidrio y un envainado de vidrio, rodeando una capa blanda 4B de revestimiento interior la porción 4C de vidrio y proporcionando una capa 4S más dura de revestimiento exterior resistencia contra las fuerzas radiales. La fibra 4 también comprende una capa 41 de tinta sobre la capa exterior 45.

25 Las fibras "A" comprenden un alma de vidrio de un diámetro de aproximadamente 0,125 mm, una capa de revestimiento primario que tiene un diámetro de aproximadamente 0,190 mm y una capa de revestimiento secundario que tiene un diámetro de aproximadamente 0,245 mm. La fibra "A" usada en el primer cable comparativo estaba coloreada con tinta para identificarla en el cable según un sistema específico de codificación por colores: el diámetro de la fibra coloreada con tinta es de aproximadamente 0,255 mm. La Tabla 2 a continuación documenta el módulo elástico de las capas de revestimiento interior y exterior de la fibra "A" a diferentes temperaturas.

Tabla 2

Fibra "A"	Módulo elástico [MPa] como función de la temperatura (medido con DMTA, Análisis termomecánico diferencial, a una frecuencia de 1 rad/seg)			
	T = -30°C	T = 0°C	T = +22°C	T = + 60°C
Capa de revestimiento interno	300	-	1,8	1,9

ES 2 372 598 T3

Fibra "A"	Módulo elástico [MPa] como función de la temperatura (medido con DMTA, Análisis termomecánico diferencial, a una frecuencia de 1 rad/seg)			
	T = -30°C	T = 0°C	T = +22°C	T = + 60°C
Capa de revestimiento externo	(~1600)**	1600	1000	-

**El módulo elástico de la capa revestimiento externo no se midió a -30°C porque el módulo elástico de los acrilatos típicamente alcanza un nivel de "meseta" a aproximadamente 0°C y tal valor no cambia sensiblemente de forma significativa a temperaturas menores.

Aunque el primer cable óptico comparativo descrito en lo que antecede demostró una estructura muy resistente y un gran intervalo de temperaturas operativas, no es adecuado para ser instalado mediante procedimientos de soplado dentro de tubos miniaturizados debido a su gran diámetro.

5 Para los fines de la presente invención, con "temperatura operativa" se quiere decir el intervalo de temperaturas en el que el cable, después de ser sometido a un ensayo térmico por ciclos llevado a cabo según el estándar IEC 60794-1-2, "Generic Specification-Basic Optical Cable Test Procedure", y a un ensayo de envejecimiento llevado a cabo según Bellcore GR-20-CORE, "Generic Requirements For Optical Fiber And Optical Fiber Cable", muestra una variación máxima $\Delta\alpha_{\max}$ de la atenuación $\leq 0,05$ dB/Km a 1550 nm.

10 Por lo tanto, el solicitante consideró un cable óptico de tamaño reducido (brevemente, "segundo cable comparativo") cuyas características se enumeran en la Tabla 3 a continuación. El segundo cable comparativo estaba equipado, como el primer cable comparativo, con 72 fibras "A" distribuidas de forma homogénea entre seis tubos 3.

Tabla 3
- Segunda estructura comparativa de cable -

Diámetro de la varilla central [mm]	2,0
Diámetro exterior/interior de los tubos holgados [mm / mm]	1,90/1,35
Diámetro exterior de la fibra óptica coloreada con tinta [mm]	0,255
Diámetro de un haz de doce fibras [mm]	1,034
Paso del trenzado de los tubos 3 [mm]	65
Diámetro exterior del núcleo del tubo trenzado [mm]	5,80
Espesor de la camisa [mm]	1,0
Material de la camisa	HDPE
Diámetro exterior del cable [mm]	7,9
SFW _{tot} [%]	0,57
Intervalo operativo de temperaturas del cable [°C]	-10 a +50
Variación máxima $\Delta\alpha_{\max}$ de la atenuación	$\leq 0,05$ dB/Km a 1550 nm
Radio de curvatura de las fibras cableadas: cable recto [mm]	45 (mín.) 57 (med.) 78 (máx.)
Índice de resistencia a la fuerza de aplastamiento de tubos 3 [(espesor / radio medio) ³]	$\sim 3,9 \cdot 10^{-2}$
Espacio radio entre el tubo holgado 3 y el haz de fibras	
- Diferencia entre diámetros [mm]	0,316
- Proporción entre diámetros	1,31
Coefficiente de llenado de fibras ópticas en el tubo holgado respect. [%]	42,8
Densidad de fibra dentro de un tubo holgado [fibras / mm ²]	8,38
Densidad de fibra dentro de un cable [fibras / mm ²]	1,47

El (segundo) cable óptico (comparativo) de tamaño reducido se obtuvo reduciendo: el diámetro de la varilla central, el diámetro y el espesor del tubo holgado y el espesor de la camisa.

15 Mediante tales reducciones, todo el diámetro del cable se ha reducido en aproximadamente un 35% (de 10,7 mm a 7,9 mm). La camisa del cable de tamaño reducido se fabricó de HDPE para obtener mejores rendimientos ante la fricción con el conducto de instalación.

20 La densidad de la fibra dentro tanto de los tubos holgados como de todo el cable da como resultado márgenes menores de seguridad del diseño con respecto al primer cable comparativo: el cable dieléctrico obtenido no muestra una atenuación aceptable en todo el intervalo de temperaturas de -40°C a +70°C. Así, una reducción prog resiva del diámetro del cable dio como resultado una correspondiente reducción de los rendimientos de transmisión y en una correspondiente restricción de las temperaturas operativas.

25 Los inconvenientes y las limitaciones anteriores se confirmaron con pruebas adicionales llevadas a cabo por el solicitante por medio de un cable óptico de diámetro reducidísimo (brevemente, "tercer cable comparativo") cuyas características se enumeran en la Tabla 4 a continuación.

Tabla 4

- Tercera estructura comparativa de cable -	
Diámetro de la varilla central [mm]	1,7
Diámetro exterior/interior de los tubos holgados [mm / mm]	1,60/1,20
Diámetro exterior de la fibra óptica coloreada con tinta [mm]	0,255
Diámetro de un haz de doce fibras [mm]	1,034
Paso del trenzado de los tubos 3 [mm]	60
Diámetro exterior del núcleo del tubo trenzado [mm]	4,90
Espesor de la camisa [mm]	0,50
Material de la camisa	Poliamida 12
Diámetro exterior del cable [mm]	6,0
SFW _{tot} [%]	0,30
Intervalo operativo de temperaturas del cable [°C]	0 a +40
Variación máxima $\Delta\alpha_{\max}$ de la atenuación	$\leq 0,05$ dB/Km a 1550 nm
Radio de curvatura de las fibras cableadas: cable recto [mm]	45 (mín.) 57 (med.) 78 (máx.)
Índice de resistencia a la fuerza de aplastamiento de tubos 3 [(espesor / radio medio) ³]	$\sim 2,3 \cdot 10^{-2}$
Espacio radio entre el tubo holgado 3 y el haz de fibras	
- Diferencia entre diámetros [mm]	0,166
- Proporción entre diámetros	1,16
Coefficiente de llenado de fibras ópticas en el tubo holgado [%]	54,2
Densidad de fibra dentro de un tubo holgado [fibras / mm ²]	10,61
Densidad de fibra dentro de un cable [fibras / mm ²]	2,55

También el tercer cable comparativo estaba equipado con fibras "A".

5 Con respecto al segundo cable comparativo, el tercer cable comparativo (cable óptico de tamaño reducidísimo) se obtuvo reduciendo adicionalmente: el diámetro de la varilla central, el diámetro y el espesor del tubo holgado y el espesor de la camisa. Con tales reducciones, todo el diámetro del cable se redujo hasta los 6,0 mm; concretamente, se redujo en aproximadamente un 45% (de 10,7 mm a 6,0 mm) con respecto al primer cable comparativo y en aproximadamente un 25% (de 7,9 mm a 6,0 mm) con respecto al segundo cable comparativo. La camisa del cable de tamaño reducido se fabricó de poliamida 12 en vez de LDPE o HDPE para miniaturizar adicionalmente el diámetro del cable usando una vaina exterior muy delgada que tenía propiedades mecánicas equivalentes a las de la vaina de HDPE del segundo cable comparativo.

15 Para un cable óptico similar de tamaño reducidísimo, el solicitante verificó que la estructura del cable ya no es capaz de proporcionar todo el grado de libertad para la evitación de interferencias mutuas de las fibras y el contacto forzado de las fibras con las paredes del tubo holgado. Así, los cambios en la dimensión longitudinal en el cable dan como resultado aumentos en la atenuación a causa del efecto de microcurvatura debido a la presión de contacto. La situación es también la peor y se vuelve más crítica, porque no es posible predecir, durante la etapa de diseño del cable, los márgenes de seguridad de SFW_{tracción} y SFW_{compresión} teniendo en cuenta la variabilidad del procedimiento de fabricación del cable. En particular, debería hacerse referencia a la etapa de introducción de las fibras ópticas dentro de un tubo y al control de la EFL (longitud extra de la fibra). En el mejor de los casos, los valores de la EFL están dispersos en un intervalo del $\pm 0,05\%$ con respecto al valor nominal, y el solicitante considera que esta dispersión es demasiado grande para asumir la viabilidad de cable miniaturizado de MLT con las propiedades de transmisión regulares. En pocas palabras, un cable de MLT que tiene un diámetro reducidísimo pero está fabricado según con el conocimiento de la técnica anterior está caracterizado por rendimientos de transmisión en función de la temperatura que no son adecuados para las aplicaciones de telecomunicaciones en el exterior.

25 El solicitante observó que pueden obtenerse características de transmisión mejoradas empleado, según se muestra en la Fig. 3, fibras ópticas 4 dotadas de al menos dos capas de revestimiento, como la fibra de la Fig. 2, pero no comprendiendo una capa de tinta y, por lo tanto, teniendo un diámetro reducido. La capa exterior 4S de revestimiento está coloreada en masa para proporcionar la requerida distinción de color entre las fibras. Ventajosamente, el módulo elástico de la capa interna de revestimiento a bajas temperaturas (aproximadamente -30°C) es menor de aproximadamente 200 MPa, preferentemente menor de aproximadamente 100 MPa, más preferentemente menor de aproximadamente 80 MPa y aún más preferentemente entre aproximadamente 30 y 60 MPa. En lo sucesivo esta fibra será denominada fibra "B". El módulo elástico como función de la temperatura de los materiales de revestimiento que podrían usarse con provecho según la presente invención se documenta en la Tabla 5 a continuación.

Tabla 5

Fibra "B"	Módulo elástico [MPa] como función de la temperatura (medido con DMTA, Análisis termomecánico diferencial, a una frecuencia de 1 rad/seg)			
	T = -30°C	T = 0°C	T = +22°C	T = + 60°C
Capa de revestimiento interno	54	-	1,6	1,6
Capa de revestimiento externo	(~2200)**	2200	1370	-

**El módulo elástico de la capa revestimiento externo no se midió a -30°C porque el módulo elástico de los acrilatos típicamente alcanza un nivel de "meseta" a aproximadamente 0°C y tal valor no cambia sensiblemente a temperaturas menores.

5 Debería hacerse notar que la fibra "B" tiene una capa de revestimiento interno con un diámetro de aproximadamente 0,190 mm que es mucho más blanda que la capa de revestimiento interno de la fibra "A" (especialmente a bajas temperaturas) y una capa de revestimiento externo que es mucho más dura que la capa de revestimiento externo de la fibra "A". En particular, el módulo elástico del revestimiento acrílico interno de las fibras "B" es aproximadamente seis veces menor que el revestimiento acrílico interno de las fibras "A" a -30°C. Además, la fibra "B" es tá recubierta con una capa coloreada de revestimiento y no requiere ser coloreada con tinta antes del cableado: el diámetro exterior efectivo de la fibra es de aproximadamente 0,245 mm (con respecto al diámetro exterior nominal de 0,255 mm de la fibra "A" coloreada con tinta). En cualquier caso, el solicitante no considera que la pequeña reducción del diámetro exterior de la fibra sea significativa para alcanzar el objeto final de la presente invención.

10 El solicitante midió la sensibilidad a la microcurvatura tanto de las fibras "A" como de las "B" por medio de un aparato de ensayos de EDM (procedimiento de tambor expansible), que será descrito más abajo. Los resultados de tal ensayo se documentan en la Tabla 6 a continuación.

Tabla 6

- Resultados de los ensayos en tambor expansible -			
Tipo de fibra	Sensibilidad a la microcurvatura a 1550 nm [dB/Km]/(g/mm)		
	T = -30°C	T = +20°C	T = +60°C
"A"	10	3	3
"B"	3	3	3,5

15 A partir de la tabla anterior, se hace evidente que las fibras "A" y "B" difieren fundamentalmente entre sí por su comportamiento a bajas temperaturas. En particular, en el intervalo entre +20°C y +60°C, la sensibilidad de la fibra "B" a la microcurvatura es casi equivalente a la de la fibra "A". Por el contrario, la sensibilidad de la fibra "B" a la microcurvatura a -30°C es muy inferior a la de la fibra "A" a la misma temperatura.

20 El solicitante llevó a cabo pruebas adicionales sustituyendo fibras ópticas genéricas "A" por fibras "B" en los cables comparativos primero, segundo y tercero.

En una primera prueba, las fibras ópticas "A" del primer cable óptico comparativo fueron sustituidas por fibras ópticas del tipo "B". Aunque el primer cable óptico comparativo con fibras "A" ya había mostrado buenos rendimientos en un amplio intervalo de temperaturas (de -40°C a +70°C) , el solicitante observó que el empleo de fibras "B" da como resultado rendimientos mejores y más estables, que superan ampliamente los requisitos de la operación habitual.

25 En una segunda prueba, las fibras ópticas "A" del segundo cable óptico comparativo fueron sustituidas por fibras ópticas del tipo "B". El solicitante observó que el uso de fibras "B" da como resultado un cable que tiene rendimientos estables en un intervalo más amplio de temperatura, concretamente de -30°C a +60°C.

30 Por último, en una tercera prueba, las fibras ópticas "A" del tercer cable óptico comparativo fueron sustituidas por fibras ópticas del tipo "B". El solicitante observó que el uso de fibras "B" da como resultado un cable que tiene rendimientos estables en un intervalo más amplio y plenamente aceptable de temperatura, concretamente de -20°C a +60°C. Este intervalo hace el uso de esta estructura de cable practicable para la mayoría de las aplicaciones metropolitanas.

Las características estructurales de la realización preferente del cable óptico según la presente invención se enumeran en la Tabla 7 a continuación.

Tabla 7

- Estructura de una realización de cable según la invención -	
Diámetro de la varilla central [mm]	1,7
Diámetro exterior/interior de los tubos holgados [mm / mm]	1,60/1,20
Diámetro exterior de la fibra óptica coloreada con tinta [mm]	0,245
Diámetro de un haz de doce fibras [mm]	0,993
Paso del trenzado de los tubos 3 [mm]	60
Diámetro exterior del núcleo del tubo trenzado [mm]	4,90
Espesor de la camisa [mm]	0,50

- Estructura de una realización de cable según la invención -	
Material de la camisa	Poliamida 12
Diámetro exterior del cable [mm]	6,0
SFW _{tot} [%]	0,37
Intervalo operativo de temperaturas del cable [°C]	- 20 a +60
Variación máxima $\Delta\alpha_{\max}$ de la atenuación	$\leq 0,05$ dB/Km a 1550 nm
Radio de curvatura de las fibras cableadas: cable recto [mm]	45 (mín.) 57 (med.) 78 (máx.)
Índice de resistencia a la fuerza de aplastamiento de tubos 3 [(espesor / radio medio) ³]	$\sim 2,3 \cdot 10^{-2}$
Espacio radio entre el tubo holgado 3 y el haz de fibras	
- Diferencia entre diámetros [mm]	0,207
- Proporción entre diámetros	1,21
Coeficiente de llenado de fibras ópticas en el tubo holgado [%]	50,0
Densidad de fibra dentro de un tubo holgado [fibras / mm ²]	5,97
Densidad de fibra dentro de un cable [fibras / mm ²]	2,55

5 El solicitante verificó también que se obtienen resultados más coherentes y regulares en términos de rendimientos de transmisión cuando se usan fibras ópticas del tipo "B" con un MAC menor. MAC se refiere al diámetro de campo modal MFD dividido por la longitud de onda de corte para una fibra monomodo. Según el solicitante, el MAC debería ser $\leq 8,5$, preferentemente $\leq 8,0$ y más preferentemente $\leq 7,8$ a 1310 nm, estando el valor correspondiente a 1550 nm alrededor de 8,59.

10 En lo referente al tercer cable, comprende preferentemente un hilo higroexpansor, devanado con paso alargado en torno a la varilla central. Seis tubos holgados 3 están trenzados en SZ alrededor de la varilla central, con un paso medio del trenzado de aproximadamente 60 mm (por ejemplo, 8 vueltas en "Z" y 8 vueltas en "S", o 6 vueltas en "Z" y 6 vueltas en "S"). Preferentemente, los tubos holgados 3 están unidos por dos cintas de polipropileno que tienen un espesor de aproximadamente 0,05 mm y una anchura de aproximadamente 2,5 mm aplicadas en forma de espiral de doble rosca. Doce fibras ópticas SM-R están dispuestas con holgura dentro de cada tubo. Las fibras están coloreadas en masa y tienen un diámetro de $245 \pm 10 \mu\text{m}$. Durante la etapa de introducción de un haz de fibras dentro de un tubo, las fibras son trenzadas en SZ para igualar la longitud de las mismas. Preferentemente, la camisa exterior comprende un compuesto de poliamida 12 cargado de grafito. Preferentemente, el compuesto está fabricado por EMS Chemie SA y está comercializado con la marca "Grilamid L20LF". Como alternativa, la camisa exterior podría estar fabricada de HDPE, MDPE o LDPE, posiblemente tratados con una solución acuosa basada en el grafito para obtener mejores rendimientos ante la fricción.

15 El solicitante ha verificado que también el material de los tubos que alojan con holgura las fibras ópticas tiene mucha relevancia para la obtención de un cable de buen rendimiento según la presente invención.

20 Ventajosamente, tales tubos deberían tener un módulo de elasticidad $E \geq 700$ MPa, preferentemente ≥ 800 MPa y, más preferentemente aún, ≥ 1000 MPa para garantizar la protección mecánica de las fibras contra fuerzas externas tanto radiales como longitudinales.

25 Según una realización preferente, los tubos comprenden PBT (tereftalato de polibutileno) y el módulo de elasticidad es de aproximadamente 2000 MPa. Según una realización adicional, los tubos comprenden un compuesto de HDPE (polietileno de alta densidad) o MDPE (polietileno de densidad media), caracterizado por un módulo de elasticidad \geq a aproximadamente 700 MPa.

30 Se sometió una longitud de 3000 m del cable de tamaño reducidísimo (tercer cable) dotado de fibras "B" a una prueba de temperatura en un intervalo entre -20°C y +60°C, y, después, a un ensayo de envejecimiento en caliente (siete días a 85°C). El ensayo de envejecimiento en caliente fue seguido por un ensayo térmico adicional por ciclos llevado a cabo en el mismo intervalo de temperaturas que antes. La longitud del cable mostró una atenuación estable y regular a 1550 nm. Todas las fibras cableadas mostraron un aumento máximo $\Delta\alpha_{\max}$ de la atención $\leq 0,05$ dB/Km.

35 Se sopló el mismo cable de forma continua con una velocidad media de 18 m/min (siendo la velocidad máxima de 36 m/min) en un conducto de polietileno que tenía un diámetro interior de 8 mm (siendo el diámetro exterior de 10 mm) en una longitud mayor de 2000 m empleando el equipo de instalación de Plumentaz SA. La instalación tuvo un éxito completo.

40 Tal como se ha expuesto en lo que antecede en conexión con la Tabla 6, el solicitante sometió a ensayo a las fibras "A" y "B" para encontrar su sensibilidad a la microcurvatura por medio de un aparato que se vale del procedimiento de tambor expansible. Tal aparato es descrito en G Grasso et al., "Microbending effects in single mode optical cables", International Wire & Cable Symposium Proceedings 1988, pp. 722-731, que se incorpora al presente documento por referencia. Los efectos de la microcurvatura en las fibras ópticas se caracterizaron usando una bobina expansible. Esta bobina metálica de 300 mm fue recubierta con un material áspero especial (3M Imperial®

PSA de 40 μm de espesor). Su dimensión radial puede ser modificado por medio de un dispositivo accionado por motor. Este dispositivo está conectado a un ordenador personal que controla también el sistema de medición óptica compuesto de un aparato para la medición de la atenuación espectral y una configuración de ensayo para la medición de la deformación de la fibra por medio de una técnica de desplazamiento de fase. El ensayo se llevó a cabo enrollando con tensión nula una longitud de fibra (aproximadamente 500 m) sobre la bobina y expandiendo la bobina mientras se monitorizaba la pérdida de transmisión de la fibra en función de la longitud de onda y la deformación de la fibra. La presión lineal sobre la fibra se calcula a partir de la elongación ϵ medida de la fibra, siendo $p=(EA)\epsilon/R$, expresión en la que (EA) es la rigidez de la fibra a la tracción y R es el radio de la bobina. A partir de estas mediciones se obtienen las pérdidas por microcurvatura como función de la longitud de onda y la presión lineal. Durante la expansión del tambor, se midió la muestra de fibra para encontrar tanto los cambios de la potencia de transmisión óptica a cierta longitud de onda, preferentemente 1550 nm, como la elongación geométrica. Por último, teniendo en cuenta la elongación geométrica de la fibra y la rigidez de la fibra a la tracción, se calcula la sensibilidad a la microcurvatura en función de la presión lateral. Tal sensibilidad está dada por la variación de la atenuación de la proporción ($\Delta\alpha$ dB/Km) con respecto a la correspondiente variación de la presión de contacto contra la superficie en expansión (Δp g/mm). Las mediciones se llevaron a cabo a +20°C, -30°C y +60°C, representando las temperaturas operativas estándar de los cables ópticos. Los resultados se documentan en la Tabla 6.

En vista de los resultados favorables que se obtuvieron con las fibras "B", el solicitante dedujo que un cable según la presente invención debería emplear fibras SM-R que tuvieran una sensibilidad a la microcurvatura igual o inferior a 4,0 dB·km⁻¹ / g·mm⁻¹ cuando se mide por medio de un aparato de tambor expansible en un intervalo de temperaturas de -30°C a +60°C.

Es sabido que la sensibilidad a la microcurvatura de las fibras ópticas SM-R depende, en primer lugar, de las propiedades físicas del revestimiento y, en segundo lugar, del número MAC. Debido a ello, todas las mediciones de microcurvatura tienen que estar normalizadas en un número MAC de referencia para comparar debidamente los rendimientos de la fibra con diferentes sistemas de revestimiento. Según se ha afirmado previamente, el valor MAC se refiere al diámetro de campo modal MFD dividido por la longitud de onda de corte. Cuanto menor sea el MAC, menor será la sensibilidad a la microcurvatura. El número MAC de referencia aquí considerado para las fibras SM-R es 8,59 a 1550 nm.

Así, se ha mostrado y descrito un cable óptico novedoso de telecomunicaciones que cumple todos los objetos y las ventajas buscados para el mismo. Sin embargo, muchos cambios, modificaciones, variaciones y otros usos y aplicaciones de la presente invención se harán evidentes a los expertos en la técnica después de considerar las especificaciones y los dibujos adjuntos que dan a conocer realizaciones preferentes de la misma. Se considera que todos los cambios, las modificaciones, las variaciones y otros usos y aplicaciones de esos tipos que no se aparten del alcance de la invención están cubiertos por la invención, que está limitada únicamente por las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un cable (1) de fibra óptica que comprende:
 - (a) un miembro central (2) de refuerzo;
 - (b) un número de tubos (3) que contienen, con holgura, fibras ópticas (4); y
 - 5 (c) una camisa protectora exterior (6);

caracterizado porque

 - (d) el coeficiente de llenado de fibras ópticas en al menos uno de dichos tubos (3) es $\geq 45\%$;
 - (e) cada uno de los tubos (3) comprende un material que tiene un módulo de elasticidad ≥ 700 MPa a temperatura ambiente; y
 - 10 (f) las fibras ópticas (4) tienen una sensibilidad a la microcurvatura $\leq 4,0$ dB·km⁻¹ / g·mm⁻¹ en un intervalo de temperaturas de -30°C a +60°C a 1550 nm, midiéndose dicha sensibilidad a la microcurvatura enrollando con tensión nula una longitud de 500 m de fibra sobre una bobina metálica de 300 mm recubierta de un material de PSA de 40 μ m de espesor y expandiendo la bobina mientras se monitoriza la pérdida de transmisión de la fibra en función de la longitud de onda y la deformación de la fibra.
- 15 2. El cable (1) de fibra óptica según la reivindicación 1 en el que las fibras ópticas (4) son fibras monomodo, SM, o monomodo reducido, SM-R.
3. El cable (1) de fibra óptica según las reivindicaciones 1 o 2 en el que los tubos (3) comprenden un material que tiene un módulo de elasticidad ≥ 800 MPa.
4. El cable (1) de fibra óptica según las reivindicaciones 1 o 2 en el que los tubos (3) comprenden un material que
- 20 4. El cable (1) de fibra óptica según las reivindicaciones 1 o 2 en el que los tubos (3) comprenden un material que tiene un módulo de elasticidad ≥ 1000 MPa.
5. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-4 en el que las fibras ópticas (4) comprenden una capa de revestimiento interno (4P) de un material que tiene un módulo elástico inferior a 200 MPa cuando se mide a -30°C e inferior a 2 MPa cuando se mide a una temperatura entre +20°C y +60°C.
6. El cable (1) de fibra óptica según la reivindicación 5 en el que las fibras ópticas (4) comprenden una capa de revestimiento interno (4P) de un material que tiene un módulo elástico inferior a 80 MPa cuando se mide a -
- 25 6. El cable (1) de fibra óptica según la reivindicación 5 en el que las fibras ópticas (4) comprenden una capa de revestimiento interno (4P) de un material que tiene un módulo elástico inferior a 80 MPa cuando se mide a -30°C.
7. El cable (1) de fibra óptica según la reivindicación 5 en el que las fibras ópticas (4) comprenden una capa de revestimiento interno (4P) de un material que tiene un módulo elástico entre 20 y 60 MPa cuando se mide a -
- 30 7. El cable (1) de fibra óptica según la reivindicación 5 en el que las fibras ópticas (4) comprenden una capa de revestimiento interno (4P) de un material que tiene un módulo elástico entre 20 y 60 MPa cuando se mide a -30°C.
8. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-7 en el que las fibras ópticas (4) comprenden una capa externa (4S) de revestimiento coloreado en masa.
9. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-8 en el que el coeficiente de llenado de fibras ópticas en dicho al menos uno de dichos tubos (3) es $\geq 50\%$.
10. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-9 en el que los tubos (3) están fabricados
- 35 10. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-9 en el que los tubos (3) están fabricados de un material seleccionado del grupo que consiste en: tereftalato de polibutileno, polietileno de alta densidad, polietileno de densidad media y polietileno de baja densidad.
11. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en el que los tubos (3) tienen un diámetro interno $\leq 1,25$ mm.
12. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en el que los tubos (3) tienen un
- 40 12. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en el que los tubos (3) tienen un diámetro interno $\leq 1,20$ mm.
13. El cable (1) de fibra óptica según la reivindicación 8 en el que el diámetro externo de las fibras ópticas coloreadas es de 0,245 mm.
14. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-13 en el que el diámetro externo del cable es $\leq 7,0$ mm con un número de fibras ópticas ≥ 72 .
- 45 15. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-13 en el que el diámetro externo del cable es $\leq 6,0$ mm con un número de fibras ópticas ≥ 72 .

- 5
16. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-15 en el que la camisa exterior (6) está fabricada de un material seleccionado del grupo que consiste en: poliamida 12, polietileno de alta densidad, polietileno de densidad media y polietileno de baja densidad.
 17. El cable (1) de fibra óptica según cualquiera de las reivindicaciones 1-15 en el que la camisa exterior (6) está fabricada de un compuesto de poliamida 12 cargada con grafito.

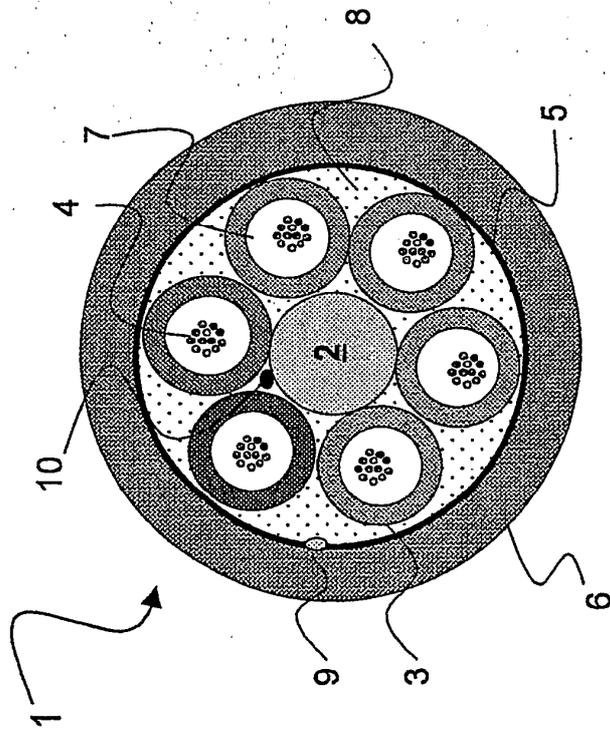


Fig. 1

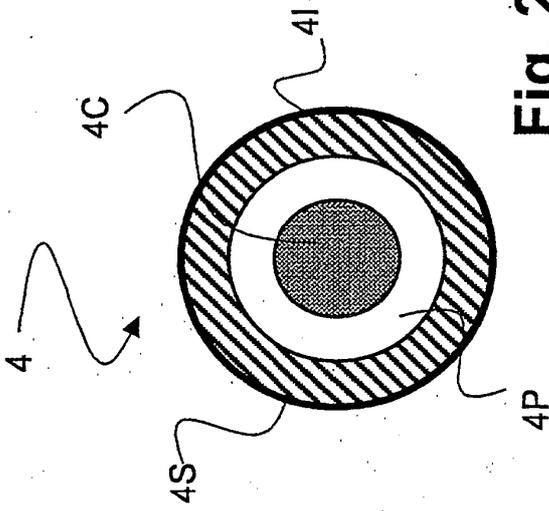


Fig. 2

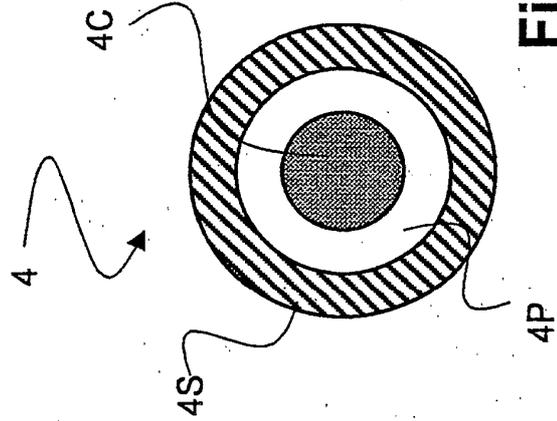


Fig. 3