

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 523**

51 Int. Cl.:

G02B 6/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2001 E 01972462 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2012 EP 1338102**

54 Título: **Fibra óptica para redes de distribución al hogar**

30 Prioridad:

**11.09.2000 IT MI001983
25.10.2000 US 242715 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.03.2013

73 Titular/es:

**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)
VIALE SARCA 222
20126 MILANO, IT**

72 Inventor/es:

**OLIVETI, GUIDO;
POMARICO, FRANCESCO, IVAN;
ROBA, GIACOMO;
SARCHI, DAVIDE y
SARTORI, FRANCESCO**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 398 523 T3

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

DESCRIPCIÓN

Fibra óptica para redes de distribución al hogar

5 La presente invención se refiere a una red de distribución de señal desde un punto de ramificación común a una pluralidad de equipos de usuario, que comprende una unidad de distribución y una pluralidad de cables de fibra óptica.

10 La presente invención también se refiere a un cable de fibra óptica y a una fibra óptica adaptada para ser utilizada en una red de distribución de señal.

15 Actualmente, en el campo de las telecomunicaciones, la tecnología óptica se utiliza principalmente para la transmisión a larga distancia de señales ópticas utilizando las propiedades conocidas de la banda ancha proporcionadas por fibras ópticas. Por el contrario, la tecnología más utilizada para la distribución de señales a una pluralidad de usuarios (tales como, por ejemplo, señales de televisión y/o analógicas y/o digitales de teléfono) y para transmitir datos digitales entre equipos electrónicos (tales como, por ejemplo, los ordenadores personales de una red LAN) hace uso de cables eléctricos, tales como, por ejemplo, cables coaxiales o aquellos que consisten en pares de cobre.

20 Sin embargo, los cables eléctricos tienen una banda relativamente estrecha, y se están convirtiendo en un cuello de botella respecto a la banda de señal a transmitir. Además, presentan problemas de interferencias electromagnéticas, de adaptación de impedancia, y de que son difíciles de introducirse en los conductos para cables especiales de un edificio, ya que son rígidos. Además, al ser voluminosos, reducen significativamente el número de cables que se pueden insertar en un conducto para cables. Además, debido a los requisitos de seguridad eléctrica, requieren la disposición de conductos para cables separados de los utilizados para la distribución de energía eléctrica.

30 Así, la investigación se orienta hacia la posibilidad de utilizar la fibra óptica no sólo en la transmisión a larga distancia de señales, sino también en las redes de distribución de señal de un punto de ramificación común a una pluralidad de usuarios. De hecho, los cables de fibra óptica son adecuados para ser insertados en los conductos para cables especiales de un edificio, ya que no son demasiado voluminosos, sino que son ligeros, flexibles, y libres de interferencias electromagnéticas. Además, son adecuados para ser insertados en los mismos conductos para cables que se utilizan para la distribución de energía eléctrica. Además, las fibras ópticas tienen potencialmente una banda muy ancha, valores de atenuación bajos, y son transparentes a la velocidad de bits, al formato y al código de transmisión.

35 Además, entre los diversos tipos de fibras ópticas, las fibras ópticas de un solo modo convencionales son más preferibles que las múltiples modos, ya que son en sí menos costosas, con pérdidas de absorción inferiores, están adaptadas para ser utilizadas para una transmisión multiplexada de división de longitud de onda (WDM) y tienen una banda más ancha.

40 Típicamente, de acuerdo con el estándar ITU-T G652, fibras ópticas convencionales de un solo modo tienen una longitud de onda de corte comprendida entre 1100 y 1280 nm, y se usan con fuentes láser y detectores que operan a aproximadamente 1300 y/o 1550 nm para el propósito de permitir una transmisión en la segunda o tercera ventana de transmisión de fibra óptica y una propagación de un solo modo (a una longitud de onda de señal superior a la longitud de onda de corte).

50 Sin embargo, debido al coste relativamente alto de los componentes optoelectrónicos y ópticos (tales como, por ejemplo, fuentes ópticas y detectores) que operan a aproximadamente 1300 y/o 1550 nm, las redes de distribución que comprenden fibras ópticas de un solo modo convencionales que operan en condiciones de propagación de un solo modo no son muy competitivas respecto a las redes convencionales que utilizan cables eléctricos.

Así, aunque las fibras ópticas convencionales de un solo modo presentan varias ventajas, su uso en redes de distribución de señales a una pluralidad de usuarios ha sido muy limitado hasta ahora.

55 Con el propósito de superar dichas desventajas, se ha propuesto implementar líneas de transmisión de señal con fibras ópticas convencionales de un solo modo como 1300 nm y fuentes láser y detectores que funcionan a aproximadamente 800 nm, es decir, con fibras ópticas que operan en condición de propagación de modo múltiple [G.A. Bogert ("Signal transmission with optical carriers in multimode range of single-mode fibres", Electronics Letters, enero de 1987, vol. 23, N° 2, páginas 71-73); F.J. Gillham et al. ("Single mode fiber optic transceiver using short wavelength active devices in long wavelength fiber" Fiber Networking and telecommunications, 1989, vol. 1179, páginas 26-33); V.C.Y. So et al. ("Multiple wavelength bidirectional transmission for subscriber loop applications", Electronics Letters, enero de 1989, vol. 25, N° 1, páginas 16-19) y Ko-ichi Suto et al. ("0.78- μ m digital transmission characteristics using 1.3- μ m optimized single-mode fiber for subscriber loop", Electronics and Communications in Japan, parte 1, 1992, vol. 75, N° 2, páginas 38-47)].

65 De hecho, dichas líneas que permiten la explotación de las ventajas anteriores de las fibras ópticas de un solo modo

y que, al mismo tiempo, reducen los costes como fuentes láser y detectores que operan a aproximadamente 800 nm son mucho menos costosas que las que operan en aproximadamente 1300 ó 1550 nm.

5 Sin embargo, cuando se utiliza en condiciones de propagación de múltiples modos, las fibras ópticas exhiben el fenómeno conocido de dispersión intermodal, según el cual dos modos de propagación diferentes (por ejemplo, el modo fundamental LP₀₁ y el modo de primer orden superior LP₁₁) viajan a velocidades de grupo diferentes, lo que causa un ensanchamiento temporal de un impulso óptico que se propaga en la fibra.

10 En una línea de transmisión de fibra óptica que opera en condiciones de propagación de múltiples modos, por lo tanto, la dispersión intermodal limita la velocidad máxima de transmisión de datos (es decir, la velocidad de bits) o la longitud máxima de la línea.

Algunos procedimientos se han propuesto con el propósito de reducir el fenómeno de dispersión intermodal.

15 M. Romeiser et al. ("Sources and systems: 800 nm transmission on 1300 nm SM fiber", FOC/LAN '87 y MFOC OESTE, pág. 388-3891); M. Stern et al. ("Three-channel, highspeed transmission over 8 Km installed, 1300 nm optimised single-mode fibre using 800 nm CD laser and 1300/1500 nm LED transmitters", Electronics Letters, febrero de 1988, vol. 24, N° 3, páginas 176-177); JL McNaughton et al. ("A compact-disc laser system for video single-mode fiber distribution in the subscriber loop", FOC/LAN 88, páginas 231-233); M. Stern et al. ("Short-wavelength transmission on 1300 nm optimized single-mode fiber ", Ingeniería Óptica, octubre de 1988, vol. 27, N° 10, páginas 901-908) y H. Jorring ("Design of optical fibre for single-mode transmission at 800 nm ", E-FOC/LAN 91, páginas 105-108) describen un sistema de transmisión local que comprende una fibra óptica monomodo convencional a 1300 nm, una fuente de láser (por ejemplo, un láser para disco compacto o CD) con emisión a 800/850 nm y un filtro modal para la eliminación de modos de orden superior.

25 KAH van Leeuwen et al. ("Measurement of higher-order mode attenuation in single-mode fibers: effective cutoff wavelength", Optics Letters, 06 1984, vol. 9, N° 6, páginas 252-254) dicen que un sistema de comunicación por fibra óptica de un solo modo puede operar por debajo de la longitud de onda de corte teórico del modo LP₁₁ si la atenuación de la luz transmitida en el modo LP₁₁ es suficientemente alta para reducir los efectos del ruido modal y de la dispersión intermodal. Para este propósito, los autores introducen un procedimiento para determinar un coeficiente de atenuación en función de la longitud de onda de modo LP₁₁ en una fibra óptica de modo único.

35 K. Kitayama et al. ("Experimental verification of modal dispersion free characteristics in a two-mode optical fiber", IEEE Journal of Quantum Electronics, enero de 1979, vol. QE-15, N° 1, páginas 6-8) divulgan los resultados de los cálculos teóricos y las medidas experimentales adaptados para determinar el retardo de grupo de los modos LP₀₁ y LP₁₁ en una fibra óptica de índice de paso a lo largo de una región de longitud de onda en la que la fibra óptica sólo guía dos modos. Los resultados obtenidos muestran que existe una longitud de onda en la que coinciden los retrasos de grupo de los dos modos.

40 La patente US 4 955 014 propone un sistema de comunicación de ondas de guía óptica en el área del abonado en el que la guía de ondas óptica de un solo modo convencional, optimizada para la propagación en el rango de 1300 a 1600 nm, se usa con transmisores y receptores ópticos cuyas longitudes de onda de funcionamiento están por debajo de la longitud de onda de corte de la guía de ondas. La guía de ondas está acoplada al láser de tal manera que excita una sola propagación realizada, permitiendo así una transmisión de señal digital a alta velocidad de bits.

45 La patente US 5.278.931 muestra un perfil de índice de refracción para una fibra de guía de onda óptica de modo único de índice de paso, incluyendo un % aproximadamente constante para todo el radio del núcleo, una cola de difusión en la interfaz entre el núcleo y las regiones de revestimiento de la fibra, y una disminución cerca del centro de la fibra.

50 La patente US 4 204 745 divulga una fibra óptica de índice graduado que tiene una distribución del índice de refracción n como una función de la distancia radial r desde el eje del núcleo, dada por

$$55 \quad n = n_0 [1 - A(r/a)^\alpha]^{1/2} \quad 0 \leq r \leq a$$

$$n = n_0 [1 - A] = n_e \quad r \geq a$$

60 donde n₀ es el índice de refracción en el eje del núcleo, a es el radio del núcleo, a es un exponente de potencia, A = (n_e-n₀)/n₀ y n_e es el índice de refracción del revestimiento. En dicha fibra, el exponente de potencia α y la frecuencia normalizada v [v = (2πan₀/λ) * (2Δ)^{1/2}] se seleccionan de manera que el retardo de grupo del modo fundamental es igual al del primer modo de orden superior.

El solicitante señala que dicha patente se refiere a la transmisión de radiación en múltiples modos de funcionamiento, y preferiblemente una condición de propagación de dos modos, en particular en la longitud de onda

de 1,25 μm , y no describe ni sugiere el uso de la fibra en una condición de propagación de modo único.

La patente US 4 877 304 divulga una fibra óptica en la que el índice de refracción n_0 en el eje del núcleo, el índice de refracción del revestimiento n_1 , el radio del núcleo y el perfil del índice de refracción del núcleo se eligen de manera que: (a) la diferencia entre el tiempo de retardo normalizado del modo j -ésimo (con $j = 1$ ó 2) y el tiempo de retardo normalizado del modo fundamental es menor de aproximadamente $5 \cdot 10^{-2}$ en un amplio intervalo de valores de la frecuencia normalizada $V [V = (n_1^2 - n_0^2)^{1/2} \cdot (2\pi a) / \lambda]$ y (b) la dispersión de guía de onda normalizada es menor o igual a 0,2 en valores de V cerca de la frecuencia de corte normalizada del primer modo de orden superior. En la descripción de la patente se dice que, debido al número limitado de variables en el diseño de un perfil de refracción de índice de paso, o del tipo α , las fibras que tienen dicho perfil de índice de refracción no se espera que satisfagan ambas condiciones (a) y (b). Ejemplos de fibras capaces de satisfacer dichas condiciones son, por ejemplo, las que tienen un perfil de índice de núcleo segmentado y del tipo W. Una fibra óptica con las características anteriores (a) y (b) puede propagar una señal que tiene dos o tres modos en el rango de longitud de onda entre 800 y 900 nm con anchos de banda comprendidos entre 2 y 4 GHz*km, y una señal de modo único de baja dispersión (dispersión total menor de 5 ps/km*min) en longitudes de onda superiores a 1250 nm.

En la patente anterior, se dice que dicha fibra se puede utilizar en un cierto número de aplicaciones del sistema. Por ejemplo, al principio, cuando los requisitos de ancho de banda están comprendidos entre 2 y 4 GHz*km, un sistema que utiliza dicha fibra óptica puede operar a longitudes de onda comprendidas entre 800 y 900 nm, en las que la fibra óptica guía pocos modos, para aprovechar la ventaja del uso de fuentes y conectores de bajo precio. Por otra parte, cuando en un momento posterior los requerimientos de ancho de banda aumentan, el sistema se puede actualizar mediante el uso operativo de los equipos terminales a velocidades de bits más altas, y las fuentes y detectores que funcionan en la región de modo único de baja dispersión de la fibra óptica.

Sin embargo, el solicitante hace notar que, en la práctica, la fibra óptica descrita por la patente US 4 877 304 es muy difícil y cara de hacer. Por lo tanto, no está adaptada para ser utilizada en una red de distribución de fibra óptica en la que el factor coste es muy importante.

Jun-ichi Sakai et al. ("Large-core, broadband optical fiber", Optics Letters, vol. 1, Nº 5, 1977, páginas 169-171) divulgan una fibra óptica de banda ancha bimodal con un diámetro de núcleo más grande que el de una fibra óptica convencional de modo único. Indican que, mediante la elección de la frecuencia normalizada igual a 4,6 y el parámetro de índice de refracción de un perfil igual a 4,5, se puede alcanzar un diámetro de núcleo tan grande como 16,3 μm con una diferencia de índice relativo igual al 0,3% en la longitud de onda de 1,25 μm .

El solicitante se enfrenta al problema técnico de proporcionar una red de distribución de señal de una manera simple y eficaz, que en un primer momento, cuando los requisitos de la banda son relativamente limitados, es adecuada para ser utilizada en gran ancho de banda a 850 nm en una condición de propagación de pocos modos, en la que es competitiva en términos de costes respecto a una distribución convencional, utilizando la red un cable eléctrico y que, en un momento posterior, cuando los requerimientos de ancho de banda aumentan, es adecuada para actualizarse para operar en una condición de propagación de modo único de banda muy amplia en aproximadamente 1300 y 1550 nm.

Así, en un primer aspecto de la misma, la presente invención se refiere a una fibra óptica de acuerdo con la reivindicación 1. En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a una red para la distribución de señales a una pluralidad de equipos de usuario de acuerdo con la reivindicación 19.

En esta descripción y en las reivindicaciones siguientes, la expresión

* "propagación de pocos modos" se utiliza para indicar una propagación de fibra óptica de modo fundamental LP_{01} y del primer modo de orden superior LP_{11} y, opcionalmente, del modo de segundo orden superior LP_{02} . Sin embargo este último, cuando está presente, se ve muy perjudicada por la alta atenuación a la que está sujeta en las condiciones típicas de uso. Preferiblemente, la expresión "propagación de pocos modos" se utiliza para indicar un modo de propagación de fibras ópticas de dos modos (del modo fundamental LP_{01} y del primer modo de orden superior LP_{11}) para la prevención de pérdidas de potencia causadas por la atenuación del segundo modo LP_{02} ;

* "perfil de índice de refracción simple" se utiliza para indicar un perfil de índice de refracción definido por un único segmento radial de la fibra, aparte de las posibles fluctuaciones debidas al proceso de producción, pequeñas disminuciones o colas de difusión.

Según la percepción del solicitante, mediante la optimización tanto de la capacidad de transmisión a 850 nm, en condición de propagación de pocos modos, y a 1550 nm, en una condición de propagación de modo único, es posible obtener una red de distribución óptica de múltiples longitudes de onda actualizable con un ancho de banda muy amplio.

Las fibras ópticas de la red de distribución de la invención están adaptadas para funcionar en una condición de

propagación de pocos modos a 850 nm con un retardo intermodal $\Delta\tau$ que es menor de aproximadamente 1 ns/km, permitiendo así el uso, de una manera eficaz, de componentes ópticos y/o optoelectrónicos de bajo precio operando a 850 nm con un ancho de banda alto.

5 Además, las fibras ópticas de la red de distribución de la invención tienen ventajosamente pérdidas de macro-flexión a 1550 nm, para el modo de propagación fundamental LP_{01} , que son menores de 0,5 dB después de 100 vueltas de fibra enrollada alrededor de un mandril de diámetro de 60 mm (correspondiente a aproximadamente 26 (dB/km).

10 Además, como que se ha demostrado que las pérdidas de macro-flexión relacionadas con un modo de propagación aumentan a medida que aumenta la longitud de onda, las fibras ópticas de la red de la invención tienen pérdidas de macro-flexión, para el modo de propagación fundamental, que son menores de 0,5 dB también a 1300 nm y a 850 nm.

15 El solicitante ha encontrado que las fibras ópticas de la invención con pérdidas por flexión que son menores de 0,5 dB a 1550 nm permiten una reducción significativa de los efectos no deseados de las duras condiciones a las que están sujetas las fibras en una red de distribución, tanto en una condición de propagación de pocos modos y en una condición de propagación de modo único. De hecho, en una red de distribución instalada en un edificio, debido a la trayectoria sinuosa de los conductos para cables en los que se insertan las fibras ópticas, a la presencia de otros cables eléctricos u ópticos en los conductos para cables, y a las presiones ejercidas por las paredes internas de los
20 conductos para cables, las fibras ópticas están sujetas a fuertes tensiones, flexión, torsión, presiones laterales sobre superficies rugosas, que son la causa de fuertes atenuaciones sobre una señal que se propaga en la fibra.

25 En particular, el solicitante ha encontrado que la fibra con las características anteriores proporciona bajas pérdidas por flexión en las condiciones de uso pesado, tales como las que son típicos de la instalación en edificios, por lo menos hasta una longitud de onda de 1625 nm, para permitir la transmisión hasta el límite superior de la banda de transmisión a 1550 nm.

30 Por lo tanto, la red de distribución de la invención está ventajosamente adaptada para operar a bajo coste (en alrededor de 850 nm) y de una manera eficaz ($\Delta\tau$ menor de 1 ns/km y pérdidas de flexión inferiores a 0,5 dB a 850 nm) en una condición de propagación de pocos modos, y es actualizable para operar eficazmente en una condición de propagación de modo único (pérdidas de flexión en 1300 y 1550 nm inferiores a 0,5 dB).

35 Al principio, cuando los requisitos de ancho de banda son relativamente limitados, la red de distribución de la invención está adaptada para ser utilizada a un bajo coste en una condición de propagación de pocos modos de ancho de banda amplio, y es competitiva en términos de costes respecto a una red de distribución convencional con cables eléctricos. Además, en un momento posterior, cuando los requisitos de banda aumentan, está adaptada para ser actualizada para operar en una condición de propagación de modo único de ancho de banda muy amplio.

40 En particular, la red de distribución de la invención permite la transmisión óptica de señales, transmitida por uno o más proveedores, en cualquier longitud de onda en una o más de las tres bandas a 850 nm, 1300 nm, 1550 nm, directamente a los usuarios finales.

45 Además, como que las fibras ópticas de la invención tienen un perfil de índice de refracción simple, son muy compatibles con fibras ópticas de modo único de acuerdo con el estándar ITU-T G 652, que también tiene un perfil de índice de refracción simple.

Además, las fibras ópticas de la invención con perfil de índice de refracción simple son fáciles de fabricar y garantizan bajos costes de producción y pocos rechazos.

50 Preferiblemente, el retraso intermodal $\Delta\tau$ a 850 nm es menor de aproximadamente 0,5 ns/km. Más preferiblemente, el retardo intermodal $\Delta\tau$ a 850 nm es inferior de aproximadamente 0,05 ns/km.

55 Preferiblemente, las macro-pérdidas de flexión a 1550 nm después de 100 vueltas sobre un mandril que tiene un diámetro de 60 mm son menos de aproximadamente 0,2 dB.

Preferiblemente, las fibras ópticas de la red de distribución de la invención son tales que tienen micro-pérdidas de flexión a 1550 nm que son menos de aproximadamente 15 [(dB/km)/(g/mm)]. Más preferiblemente, menos de aproximadamente cerca de 10 [(dB/km)/(g/mm)].

60 Las pérdidas de micro-flexión se pueden medir con el procedimiento de la bobina expansible, descrita por ejemplo por G. Grasso y F. Meli en "Microbending losses of cabled single-mode fibers", CEC 88, página 526, o por G. Grasso et al. en "Microbending effects in single-mode optical cables", International Wire and Cable Symposium,, 1988, página 722.

65 El revestimiento de cada fibra óptica tiene un índice de refracción más bajo respecto al del núcleo, para limitar la señal transmitida en el segundo.

5 Típicamente, el núcleo y el revestimiento son de un material de vidrio a base de sílice (n igual a aproximadamente 1,46) y la diferencia de índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento se obtiene mediante la incorporación de aditivos adecuados (agentes de dopado) a la matriz de vidrio del núcleo y/o del revestimiento para obtener el perfil de índice de refracción predeterminado $\Delta n(r)$.

Ejemplos típicos de dichos agentes de dopado son flúor, fósforo y germanio.

10 A partir de la medida – realizada de acuerdo con procedimientos conocidos - del perfil del índice de refracción de una fibra real, en particular de una fibra fabricada con los procedimientos de producción de "deposición de vapor exterior" (OVD) o de "deposición de vapor axial" (VAD), es posible determinar valores de frecuencia normalizada V y los valores n_0 (definidos a continuación) según el procedimiento descrito a continuación en la presente descripción.

15 Preferiblemente, cada fibra óptica tiene un valor de frecuencia normalizada V en 850 nm (definida a continuación) comprendido entre aproximadamente 3,0 y 3,6. Más preferiblemente, está comprendido entre aproximadamente 3,2 y 3,6.

Típicamente, cada fibra óptica tiene un valor de Δn_0 comprendido entre $5 \cdot 10^{-3}$ y $7 \cdot 10^{-3}$.

20 La semi-área subtendida por el perfil del índice de refracción (es decir, el área determinada por la integración del valor de la diferencia del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento por la variable r desde cero hasta un valor radial correspondiente a una porción de revestimiento) es mayor de aproximadamente 0,017 μm . Preferiblemente, es mayor de aproximadamente 0,018 μm .

25 Ventajosamente, el radio del núcleo, que se define de acuerdo con el estándar ITU-T G650, de cada fibra óptica está comprendido entre 3 μm y 6 μm . Esto hace ventajosamente que las fibras ópticas de la invención sean muy compatibles con las fibras ópticas de modo único de acuerdo con el estándar ITU-T G652 que tiene un radio típicamente comprendido entre 4 μm y 6 μm , y con el equipo, instrumentos de medición y componentes ópticos y optoelectrónicos utilizados en los sistemas convencionales de telecomunicaciones de fibra óptica (como, por ejemplo, fuentes de láser con trenzas de fibra óptica convencional y conectores ópticos convencionales optimizados para conectar fibras ópticas de modo único).

35 Ventajosamente, cada fibra óptica, fuera del revestimiento, está provista de un revestimiento exterior de protección hecho de un material polimérico, generalmente compuesto de dos capas.

Típicamente, el diámetro de la capa protectora externa es de alrededor de 250 μm . Además, el diámetro exterior del revestimiento es típicamente de alrededor de 125 μm .

40 Preferiblemente, el material de dicho recubrimiento exterior o al menos la parte de dicho recubrimiento exterior en contacto con el revestimiento, tiene un índice de refracción más alto que el del revestimiento. Esto permite ventajosamente modos de pelado del revestimiento ("modo de pelado") que son típicamente excitados en una fibra óptica en presencia, por ejemplo, de soldadura, de conexión o de flexión, y que degradan el rendimiento del sistema cuando se les deja que se propaguen hasta el receptor.

45 Más preferiblemente, el índice de refracción del material del cual consiste dicho recubrimiento exterior es mayor que la del revestimiento cuando la temperatura cambia, típicamente, en un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C y 60°C. Esto permite garantizar una supresión de los modos de revestimiento también en condiciones de temperatura variable. Esto es ventajoso, ya que en una red de distribución de señal instalada en un edificio, las fibras ópticas están típicamente sujetas a variaciones de temperatura debido, por ejemplo, a su disposición cerca de cables eléctricos, fuentes térmicas para calefacción doméstica, colectores de agua caliente, o equipo eléctrico.

55 Según una alternativa, el recubrimiento protector externo consiste en un material capaz de absorber mucho la radiación electromagnética en las longitudes de onda en cuestión, por lo que suprime los modos posibles de revestimiento.

Ventajosamente, las fibras ópticas de la red de la invención permiten la transmisión, en la condición de propagación de pocos modos, de las señales ópticas a velocidades binarias de 2,5 Gbit/s o más en un enlace de aproximadamente 300 m de longitud.

60 Ventajosamente, cada cable óptico también comprende una segunda fibra óptica.

En cuanto a las características estructurales y funcionales de dicha segunda fibra óptica, se hará referencia a lo descrito anteriormente con referencia a la primera fibra óptica.

65 Típicamente, en el lado del usuario, la red de la invención también comprende una pluralidad de dispositivos de conversión optoelectrónicos en comunicación con la pluralidad de cables ópticos.

Cada dispositivo de conversión optoelectrónico está adaptado para convertir una señal óptica procedente del cable óptico asociado al mismo en una señal eléctrica correspondiente, que se enviará al equipo de usuario correspondiente.

5 Típicamente, cada dispositivo de conversión optoelectrónico comprende un fotodetector.

10 En una realización bidireccional, cada dispositivo de conversión optoelectrónico también está adaptado para convertir una señal eléctrica procedente del equipo de usuario asociado a la misma en una señal óptica correspondiente para ser enviada al cable óptico correspondiente. En este caso, cada dispositivo de conversión optoelectrónico comprende también una fuente de luz.

15 Típicamente, para operar en una condición de propagación de pocos modos de la fibra óptica, dicha fuente de luz está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 820 y 870 nm. Preferiblemente, está adaptada para funcionar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 830 y 860 nm. Más preferiblemente, está adaptada para operar a una longitud de onda de aproximadamente 850 nm.

20 Según una variante, para operar en una condición de propagación de un solo modo de la fibra óptica, dicha fuente de luz está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 1300 nm y 1625 nm.

Típicamente, en el lado de la unidad de distribución, la red de la invención también comprende una pluralidad de convertidores optoelectrónicos en comunicación con la pluralidad de cables ópticos.

25 Cada convertidor optoelectrónico está adaptado para convertir una señal eléctrica procedente de la unidad de distribución en una señal óptica correspondiente para ser enviada al equipo de usuario pertinente a través del cable óptico correspondiente.

Típicamente, cada dispositivo de conversión optoelectrónico comprende una fuente de luz convencional.

30 Típicamente, para operar en una condición de propagación de pocos modos de la fibra óptica, dicha fuente de luz está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 820 y 870 nm. Preferiblemente, está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 830 y aproximadamente 860 nm. Más preferiblemente, está adaptada para operar a una longitud de onda de aproximadamente 850 nm.

35 Según una variante, para operar en una condición de propagación de un solo modo de la fibra óptica, dicha fuente de luz está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 1300 nm y 1625 nm.

40 En una realización bidireccional, cada convertidor optoelectrónico está también adaptado para convertir una señal óptica procedente de un equipo eléctrico de usuario a través del cable óptico adecuado, en una señal eléctrica correspondiente.

En este caso, cada dispositivo de conversión optoelectrónico comprende típicamente un fotodetector.

45 Ejemplos típicos de fuentes de luz convencionales son fuentes láser VCSEL (láser emisor de superficie de cavidad vertical) con emisión en aproximadamente 850 nm o aproximadamente 1310. Además, los ejemplos típicos de fuentes de luz convencionales con emisión en el rango de 1300-1350 nm o de 1480-1625 son los láseres Fabry-Perot y los láseres de semiconductor DFB o DBR.

50 Ejemplos típicos de fotodetectores convencionales son los fotodiodos, en particular, del tipo PIN.

Típicamente, las señales a distribuir son digitales.

55 Típicamente, en vista de la utilización prevista para la distribución de señales a los usuarios finales a partir de un punto de ramificación común, la longitud del cable óptico es menor de 2 km. Preferiblemente, su longitud es menor de 1 km. Más preferiblemente, menor de 300 m.

60 Según una realización, en el lado del usuario la red de distribución de la invención comprende al menos una red doméstica conectada a un cable óptico correspondiente. Típicamente, la red doméstica es del tipo estrella o del tipo bus.

La red doméstica está adaptada para enviar las señales procedentes del cable óptico a la que está conectado, a una pluralidad de equipos de usuario. Por ejemplo, para una pluralidad de equipos de usuario situados en la casa de un usuario.

65 En este caso, la unidad de distribución de la red de la invención está ventajosamente adaptada para multiplexar una

pluralidad de señales a diferentes longitudes de onda en una división de longitud de onda multiplexada (o WDM) de la señal óptica y enviarla a lo largo del cable óptico.

5 Típicamente, la red doméstica comprende un acoplador óptico selectivo de longitud de onda (del tipo convencional) adaptado para demultiplexar la longitud de onda de la señal óptica WDM entrante en su entrada, en una pluralidad de señales a diferentes longitudes de onda, y para enrutarlos a dispositivos de conversión optoelectrónicos asociados al equipo de usuario diferente.

10 Según una variante, la red doméstica comprende un acoplador óptico (de tipo convencional) adaptado para dividir la potencia de la señal óptica WDM entrante en su entrada, y para enviar las fracciones de potencia obtenidas de la señal óptica WDM a dispositivos de conversión optoelectrónicos asociados al equipo de usuario diferente. En este caso, los dispositivos de conversión optoelectrónicos comprenden ventajosamente también un filtro para extraer de la señal óptica WDM la longitud de onda que lleva la información destinada al equipo de usuario asociado al mismo.

15 En un aspecto adicional de la misma, la presente invención también se refiere a un cable óptico adaptado para ser utilizado en una red de distribución de señal, que comprende al menos una fibra óptica de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

20 Preferiblemente, dicho cable también comprende una segunda fibra óptica.

En cuanto a las características estructurales y funcionales de las fibras ópticas y del cable óptico, se hará referencia a lo descrito anteriormente con referencia a la red de distribución de la invención.

25 Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán más claramente a partir de la siguiente descripción detallada de una realización preferida, hecha con referencia a los dibujos adjuntos. En dichos dibujos,

- La figura 1 muestra un primer ejemplo de perfil de índice de refracción $\Delta n(r)$ de una fibra óptica de acuerdo con la invención.

30 - La figura 2 muestra un segundo ejemplo de perfil de índice de refracción $\Delta n(r)$ de una fibra óptica de acuerdo con la invención;

- La figura 3 muestra una vista esquemática de una red de distribución de señal de acuerdo con la invención;

35 - La figura 4 muestra una vista esquemática de una primera realización de una red de distribución de señal de la invención;

- La figura 5 muestra una vista esquemática de una segunda realización de una red de distribución de señal de la invención;

40 - La figura 6 muestra una vista esquemática de una tercera realización de una red de distribución de señal de la invención;

45 - La figura 7 muestra una vista esquemática de una variante de la tercera realización de la figura 6;

- La figura 8 muestra una red de distribución de la invención instalada en un edificio con conductos para cables para el paso de cables ópticos;

50 - La figura 9 muestra una realización de una fibra óptica según la invención;

- La figura 10 muestra un perfil de índice de refracción $\Delta n(r)$ de una fibra óptica de acuerdo con la invención hecha por el solicitante;

55 - Las figuras 11(a) - (c) muestran tres ejemplos de perfiles de índice de refracción $\Delta n(r)$ del tipo beta;

- La figura 12 muestra una vista esquemática de una cuarta realización de una red de distribución de señal de la invención;

60 - La figura 13 muestra el patrón del factor de forma g como los cambios de frecuencia normalizados, obtenidos con un perfil de índice de refracción del tipo beta y para valores de retardo intermodales que son menores o igual a, 1 ns/km;

- La figura 14 muestra el patrón de pérdidas por flexión como la semi-área subtendida por los cambios del perfil de índice de refracción, obtenidos con un perfil de tipo beta;

65 - Las figuras 15(a) - (c) muestran tres ejemplos más de perfiles de índice de refracción $\Delta n(r)$ del tipo beta;

- Las figuras 16(a) - (c) muestran tres ejemplos más de perfiles de índice de refracción $\Delta n(r)$ del tipo beta;

- Las figuras 17(a) - (c) muestran dos ejemplos más de perfiles de índice de refracción $\Delta n(r)$ del tipo beta.

La figura 9 muestra una realización de una fibra óptica 10 según la invención, que comprende una región interna 14, llamada núcleo, en el que se transmite una señal óptica, y una región anular externa 12, llamada revestimiento. El revestimiento 12 tiene un índice de refracción más bajo respecto al del núcleo 14 para limitar la señal transmitida en este último.

Típicamente, tanto el núcleo 14 como el revestimiento 12 están hechos de un material de vidrio a base de sílice, y la diferencia del índice de refracción entre el núcleo 14 y el revestimiento 12 se obtiene mediante la incorporación de aditivos adecuados (dopantes) en la matriz de vidrio de núcleo 14 y/o del revestimiento 12.

En base a la distribución radial de los dopantes en el núcleo 14 y el revestimiento 12 de la fibra óptica 10, un cierto perfil de índice de refracción $\Delta n(r)$, se obtiene, donde $\Delta n(r)$ se refiere a la diferencia del índice de refracción entre el núcleo 14 y el revestimiento 12 como una función de la distancia radial r desde el eje longitudinal xx de la fibra óptica 10.

Típicamente, tal como se muestra en los ejemplos descritos a continuación, el revestimiento 12 está hecho sustancialmente de sílice pura, y tiene un índice de refracción no que es sustancialmente constante a medida que la distancia radial desde el eje xx cambia.

La fibra óptica 10 según la invención tiene longitudes de onda de corte para el primer modo de orden superior LP_{11} y para el segundo modo de orden superior LP_{02} y el perfil de índice de refracción $\Delta n(r)$ simple seleccionado de tal manera como para proporcionar

- una propagación de un solo modo en longitudes de onda mayores de aproximadamente 1260 nm - es decir, una longitud de onda de fibra de corte de 2 m (ITU-T G652) del primer modo de orden superior LP_{11} que es menor de aproximadamente 1260 nm;

- una propagación de pocos modos en aproximadamente 850 nm - es decir, una longitud de onda de fibra de corte de 2 m (ITU-T G652) del primer modo de orden superior LP_{11} que es mayor de aproximadamente de 850 nm;

- pérdidas de macro-flexión a 1550 nm que son menores de aproximadamente 0,5 dB después de 100 vueltas de fibra alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 60 mm (correspondiente a 26 dB/km); y

- un retraso intermodal $\Delta\tau$ entre el modo de propagación fundamental LP_{01} y el primer modo de orden superior LP_{11} a 850 nm que es menor que o igual a aproximadamente 1 ns/km.

Además, la longitud de onda de corte de fibra de 2 m (ITU-T G652) del segundo modo de orden superior LP_{02} es preferiblemente menor de aproximadamente 800 nm.

Por ejemplo, un perfil de índice de refracción simple teórico típico, en lo sucesivo denominado "perfil beta" - que es similar al perfil del índice de refracción real obtenido con los procedimientos convencionales para producir fibras ópticas, conocidas como "deposición de vapor exterior" (u OVD) y como "deposición axial de vapor" (o VAD) - comprende una pequeña disminución en el centro del núcleo 14 (típico del proceso de producción OVD) con un patrón inicial parabólico que después se convierte en rectilíneo; una porción central con un patrón super-gaussiano y una cola externa con patrón Laurentzian, donde el patrón super-gaussiano es dado por la curva definida por la siguiente relación

$$\Delta n(r) = \Delta n_0 * e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{a}\right)^g} \quad (A)$$

donde r es la distancia radial desde el eje longitudinal xx de la fibra óptica 10, a y g son dos parámetros de la dimensión radial y la forma del patrón, y el patrón Laurentzian está dado por la curva definida por la siguiente relación

$$\Delta n(r) = A w / [4 (r-x_c)^2 + w^2] \quad (B)$$

donde r es la distancia radial desde el eje longitudinal xx de la fibra óptica 10 y los parámetros A , W , X_c son parámetros de forma seleccionados de manera que la cola Laurentzian intersecta el centro de la porción super-gaussiana en el punto de inflexión de esta último.

El solicitante ha observado que el retraso intermodal $\Delta\tau$ a 850 nm entre el modo de propagación fundamental LP_{01} y el primer modo de orden superior LP_{11} depende de la frecuencia normalizada V , en el parámetro de forma g de la porción central super-gaussiana del perfil beta, y, en general, en los parámetros que definen la pequeña disminución, la porción super-gaussiana y la cola Laurentzian del perfil beta.

5

La frecuencia normalizada V se define como

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{2 * n * \Delta n_0}$$

10 donde Δn_0 es la diferencia de índice de refracción máxima entre el núcleo 14 y el revestimiento 12, y n es el índice de refracción del sílice (aproximadamente 1,46) y a es el radio del núcleo.

Para el perfil beta, Δn_0 corresponde al valor tomado por la curva super-gaussiana de interpolación (relación A) para un valor de r que es igual a cero, y a es el parámetro de dimensión radial de la curva super-gaussiana.

15

Además, el solicitante ha observado que los pérdidas de macro-flexión dependen de la semi-área subtendida por el perfil de índice de refracción simple y sobre los parámetros que definen la pequeña disminución, la porción super-gaussiana, y la cola Laurentzian del perfil beta.

20 Por lo tanto, las simulaciones por ordenador se han llevado a cabo para determinar los valores del parámetro de forma g de la porción central con patrón super-gaussiana del perfil beta, lo que permite obtener un retardo intermodal $\Delta\tau$ que es menor o igual a 1 ns/km en 850 nm, cuando la frecuencia normalizada V a 850 nm cambia para diferentes valores de los parámetros del perfil beta.

25 Además, las simulaciones por ordenador se han llevado a cabo para determinar pérdidas de macro-flexión a 1550 nm obtenidas en 100 vueltas de fibra enrollada alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 60 mm para una fibra que tiene el perfil de índice de refracción beta cuando la semi-área subtendida por dicho perfil cambia para diferentes valores de los parámetros del perfil beta.

30 La figura 13 muestra el valor del parámetro de forma g cuando la frecuencia normalizada varía, obtenida con las simulaciones.

En dicha figura, la línea 500 representa la frecuencia de corte normalizada del primer modo de orden superior LP_{11} mientras que la línea 501 representa la frecuencia de corte normalizada del segundo modo de orden superior LP_{02} , es decir, las dos líneas 500, 501 definen en su interior una región de propagación de dos modos (de la LP modo fundamental₀₁ y de la LP primer modo de orden superior₁₁). Además, las líneas 502 delimitan una región en la que se concentran los puntos (V , g) correspondientes a los perfiles beta que tienen un retardo intermodal que es menor o igual a 1 ns/km; las líneas 503 delimitan una región en la que se concentran los puntos (V , g) correspondientes a los perfiles beta que tienen un retardo intermodal que es menor o igual a, 0,5 ns/km y las líneas 504 delimitan una región en la que se concentran los puntos (V , g) correspondientes a los perfiles beta que tienen un retardo intermodal que es menor o igual a aproximadamente 0,05 ns/km.

35

40

Tal como se puede observar, para una fibra óptica con un perfil de índice de refracción del tipo beta que tiene un retardo intermodal $\Delta\tau$ menor de 1 ns/km, la frecuencia normalizada V a 850 nm debe estar comprendida entre aproximadamente 2,85 y aproximadamente 3,95. Preferiblemente, la frecuencia normalizada V está comprendida entre aproximadamente 3,0 y 3,6. Más preferiblemente, está comprendida entre aproximadamente 3,2 y 3,6. En este último caso, el valor del parámetro de forma g es preferiblemente menor o igual a 9.

45

A su vez, la figura 14 muestra pérdidas de macro-flexión (L) a 1550 nm - expresado en dB después de 100 vueltas de fibra enrollada alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 60 mm - como la semi-área (A) subtendida por los cambios de perfil, obtenidos con las simulaciones anteriores.

50

Dos áreas se pueden observar en dicha figura: un área superior, en la que están comprendidos los puntos (A , L) que corresponden a los perfiles beta que tienen mayores pérdidas de macro-flexión que 0,5 dB después de 100 vueltas de la fibra enrollada alrededor de un mandril de 60 mm, y un área inferior, en la que están comprendidos los puntos (A , L) correspondientes a los perfiles beta que tienen pérdidas de macro-flexión menores que 0,5 dB.

55

Tal como se puede observar, para una fibra óptica con un perfil de índice de refracción del tipo beta que tiene menores pérdidas de macro-flexión que 0,5 dB, la semi-área subtendida por el perfil debe tener un valor superior a aproximadamente 0,017 μm . Preferiblemente, la semi-área subtendida por el perfil tiene un valor superior a aproximadamente 0,018 μm .

60

Las figuras 11(a)-(c), 15(a)-(c), 16(a)-(c) y 17(a)-(b), muestran 11 ejemplos de perfiles beta que proporcionan

- una propagación de un solo modo en longitudes de onda mayores que aproximadamente 1260 nm;

- una propagación de pocos modos en aproximadamente 850;

5 - pérdidas de macro-flexión a 1550 nm que son menos que aproximadamente 0,5 dB después de 100 vueltas de fibra alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 60 mm, y

- un retraso intermodal $\Delta\tau$ entre el modo de propagación fundamental LP_{01} y el primer modo de orden superior LP_{11} a 850 nm que es menor o igual a aproximadamente 1 ns/km.

10 Las principales características de los perfiles beta que se muestran en las figuras 11(a)-(c), 15(a)-(c), 16(a)-(c) y 17(a)-(b) se muestran en las tablas 1 a 4.

TABLA 1

FIGURA	11 (a)	11 (b)	11 (c)
An_0	$5.9 * 10^{-3}$	$5.8 * 10^{-3}$	$6.6 * 10^{-3}$
a (μm)	3,5	3,6	3,4
G	4	2,7	3,4
$\Delta\tau$ @ 850 nm (ns/km)	0,02	0,02	0,019
semi-área (μm)	0,020	0,020	0,020
frecuencia normalizada V	3,38	3,53	3,45
$\lambda_{\text{corte}} LP_{11}$ (Nm)	1204	1244	1177
$\lambda_{\text{corte}} LP_{02}$ (Nm)	808	843	779
Dispersión cromática @ 1550 nm [ps/(nm * km)]	14,5	15,4	13,3
MFD @ 850 nm (μm)	6,5	6,8	6,2
MFD @ 1550 nm (μm)	9,8	10,2	9,3
Macro-flexión LP_{01} @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Macro-flexión LP_{01} @ 1550 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$0,6 * 10^{-3}$	$0,9 * 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Macro-flexión LP_{11} @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$0,3 * 10^{-3}$	$0,2 * 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Micro-flexión @ 1550 nm [(dB/km)/(g/mm)]	3,9	4,9	2,4

15

TABLA 2

FIGURA	15 (a)	15 (b)	15 (c)
Δn_0	$6,8 * 10^{-3}$	$5,3 * 10^{-3}$	$5,3 * 10^{-3}$
a (μm)	3,3	3,5	3,5
G	3,5	4,0	5,7
$\Delta\tau$ @ 850 nm (ns/km)	0,03	0,01	0,03
semi-área (μm)	0,022	0,019	0,019
frecuencia normalizada V	3,47	3,24	3,23
$\lambda_{\text{corte}} LP_{11}$ (Nm)	1226	1208	1177
$\lambda_{\text{corte}} LP_{02}$ (Nm)	824	835	792
Dispersión cromática @ 1550 nm [ps/(nm * km)]	13,86	15,3	14,65
MFD @ 850 nm (μm)	6,2	7,0	6,7
MFD @ 1550 nm (μm)	9,2	10,7	10,3
Macro-flexión LP_{01} @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Macro-flexión LP_{01} @ 1550 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	0,05	0,02
Macro-flexión LP_{11} @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	0,06	0,04
Micro-flexión @ 1550 nm [(dB/km)/(g/mm)]	1,9	9,0	6,9

TABLA 3

FIGURA	16 (a)	16 (b)	16 (c)
Δn_0	$5.0 * 10^{-3}$	$7.2 * 10^{-3}$	$7.5 * 10^{-3}$
a (μm)	3,5	2,9	2,8
G	6,9	7,0	8,9
$\Delta\tau$ @ 850 nm (ns/km)	0,04	0,03	0,01
semi-área (μm)	0,018	0,022	0,022
frecuencia normalizada V	3,18	3,19	3,15
$\lambda_{\text{corte LP}_{11}}$ (Nm)	1162	1162	1170
$\lambda_{\text{corte LP}_{02}}$ (Nm)	783	780	816
Dispersión cromática @ 1550 nm [ps/(nm * km)]	14,70	11,71	11,18
MFD @ 850 nm (μm)	6,8	5,7	5,6
MFD @ 1550 nm (μm)	10,5	8,7	8,6
Macro-flexión LP ₀₁ @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Macro-flexión LP ₀₁ @ 1550 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	0,11	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Macro-flexión LP ₁₁ @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	0,3	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Micro-flexión @ 1550 nm [(dB/km)/(g/mm)]	9,1	1,4	1,25

TABLA 4

FIGURA	17 (a)	17 (b)
Δn_0	$6.6 * 10^{-3}$	$5.1 * 10^{-3}$
a (μm)	3,1	3,4
G	9,2	10,7
$\Delta\tau$ @ 850 nm (ns/km)	0,04	0,04
semi-área (μm)	0,021	0,018
frecuencia normalizada V	3,18	3,08
$\lambda_{\text{corte LP}_{11}}$ (Nm)	1184	1151
$\lambda_{\text{corte LP}_{02}}$ (Nm)	828	815
Dispersión cromática @ 1550 nm [ps/(nm * km)]	12,51	13,98
MFD @ 850 nm (μm)	5,9	6,6
MFD @ 1550 nm (μm)	9,1	10,4
Macro-flexión LP ₀₁ @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	$< 10^{-3}$
Macro-flexión LP ₀₁ @ 1550 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	0,11
Macro-flexión LP ₁₁ @ 850 nm (dB después de 100 vueltas con \emptyset de 60 mm)	$< 10^{-3}$	0,58
Micro-flexión @ 1550 nm [(dB/km)/(g/mm)]	2,1	8,7

- 5 donde
- 10 - "MFD" (Diámetro de Campo de Modo) se refiere al diámetro del campo de modo de acuerdo con el estándar ITU-T G650;
- "macro-flexión con un diámetro \emptyset de 60 mm" se refiere a la atenuación en dB a la que está sujeta una fibra óptica, enrollada 100 veces alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 60 mm, y
- 15 - "micro-flexión" se refiere a la atenuación (en dB/km) introducida mediante una fibra óptica sujeta a una presión (expresada en g/mm) en una superficie rugosa de referencia, medida de acuerdo con el procedimiento de bobina expansible mencionado anteriormente.

A partir de las Tablas 1-4 se puede observar que los valores de dispersión cromática son mejores que los de las fibras ópticas de acuerdo con el estándar ITU-T G652. Esto es ventajoso para una aplicación de las fibras ópticas en sistemas de comunicación ópticos de distancia media-larga, tal como por ejemplo, en sistemas metropolitanos.

5 Además, los valores MFD están adaptados para proporcionar la unión baja, conectando y acoplando las pérdidas.

10 Por lo tanto, la fibra óptica de acuerdo con la invención permite la implementación, de una manera eficaz, de una red de distribución de señal con componentes optoelectrónicos (fuentes de luz y detectores) a un bajo coste, que operan a aproximadamente 850 nm, y es ampliable para operar de una manera eficaz en una región de propagación de un solo modo a aproximadamente 1300 y/o 1550 nm.

Las figuras 1 y 2 muestran dos ejemplos adicionales de perfiles de índice de refracción $\Delta n(r)$ de acuerdo con la invención, para la fibra óptica 10, cuando cambia la distancia radial r desde el eje xx de la fibra óptica 10.

15 En dichas figuras se puede observar que el perfil del índice de refracción toma un valor inferior a 10^{-4} a un valor de r igual a aproximadamente $4,65 \mu\text{m}$.

20 Además, el semi-área subtendida por los perfiles de índice de refracción de las figuras 1 y 2 tiene un valor, respectivamente, iguales a $0,19$ y $0,0179 \mu\text{m}$.

25 Las simulaciones numéricas muestran que la longitud de onda de corte teórica (λ_c) para el primer modo de propagación de orden superior LP_{11} es de aproximadamente 1098 nm para la fibra óptica de la figura 1, y de aproximadamente 1095 nm para la fibra óptica de la figura 2. A su vez, la longitud de onda de corte teórica (λ_c) para el segundo de modo de propagación de orden superior LP_{02} es de aproximadamente 715 nm para la fibra óptica de la figura 1 y de aproximadamente 714 nm para la fibra óptica de la figura 2.

30 Las fibras ópticas 10 que tienen los perfiles de índice de refracción de las figuras 1 y 2 permiten así una propagación de un solo modo de señales ópticas en la segunda y en la tercera ventana de transmisión (respectivamente centrada alrededor de las longitudes de onda de aproximadamente 1310 nm y 1550 nm) y una propagación de dos modos (del modo fundamental LP_{01} y del primer modo de orden superior LP_{11}) en aproximadamente 850 nm .

35 Las simulaciones numéricas de la propagación de señales ópticas en la fibra óptica han mostrado que, en la condición de propagación de dos modos (a una longitud de onda de señal de aproximadamente 850 nm) de las fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción de las figuras 1 y 2

- la diferencia $\Delta\tau$ del retardo de propagación de los dos modos LP_{01} y LP_{11} es igual a $0,34 \text{ ns/km}$ en el caso de la figura 1 y $0,23 \text{ ns/km}$ en el caso de la figura 2; y

40 - la atenuación debida a la macro-flexión calculada sobre una fibra enrollada 100 veces alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 60 mm para el modo LP_{01} es de aproximadamente $0,059 \text{ dB/km}$ en el caso de la figura 1 y de aproximadamente $1,17 \text{ dB/km}$ en el caso de la figura 2.

45 Por lo tanto, dichas fibras ópticas permiten la implementación de una manera eficaz una red de distribución de señal con componentes optoelectrónicos (fuentes de luz y detectores) a un bajo coste, que operan a aproximadamente 850 nm .

50 Además, las simulaciones numéricas han demostrado que, en la condición de propagación de un solo modo (en las longitudes de onda de señal de aproximadamente 1310 y 1550 nm) las fibras ópticas que tienen los perfiles de índice de refracción de las figuras 1 y 2 tienen las características respectivamente resumidas en las Tablas 5 y 6.

TABLA 5

	@ 1310 nm	@ 1550 nm
Dispersión cromática (ps/(nm * km))	-4,2	12,5
Pendiente de dispersión cromática (ps/(nm ² *km))	0,085	0,059
MFD (μm)	8,25	9,66
Área efectiva (μm^2)	51,5	69,3
Macro-flexión (dB) - Ø di 60 mm	$< 10^{-3}$	0,02
Micro-flexión (dB/km)/(g/mm)	0,8	2,8

TABLA 6

	@ 1310 nm	@ 1550 nm
Dispersión cromática (ps/(nm * km))	-3,4	13,4
Pendiente de dispersión cromática (ps/(nm ² * km))	0,086	0,053
MFD (μm)	8,76	10,26
Área efectiva (μm ²)	58,0	78,2
Macro-flexión (dB) - Ø di 60 mm di	< 10 ⁻³	0,34

donde "área efectiva" se define de acuerdo con el estándar ITU-T G650.

5 A partir de las Tablas 5 y 6 se puede observar que el valor de la macro-flexión es en ambos casos menor de 0,5 dB después de 100 vueltas de fibra enrollada alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 60-mm.

10 Además, a partir de las Tablas 5 y 6 se puede observar que la dispersión cromática y los valores de pendiente de la dispersión cromática son comparables a, o mejores que, las fibras ópticas de acuerdo con el estándar ITU-T G652. Esto es ventajoso para una aplicación de las fibras ópticas en sistemas de comunicación ópticos de distancia media-larga, tal como por ejemplo, en los sistemas metropolitanos.

15 Ventajosamente, la dispersión cromática a 1550 nm tiene un valor menor que o igual a uno de los siguientes valores: 20, 19, 18, 17, 16 ps/(nm*km), en orden de preferencia ascendente.

Además, el MFD y los valores de área efectivos están adaptados para garantizar unas bajas pérdidas de unión, conexión y acoplamiento.

20 Las fibras ópticas de acuerdo con la invención, por lo tanto, permiten la implementación de una manera eficaz de una red de distribución de señal con componentes optoelectrónicos (fuentes de luz y detectores) a bajo coste, que operan a aproximadamente 850 nm y que es actualizable para operar en una región propagación de un solo modo aproximadamente de 1300 y/o 1550 nm.

25 La figura 10 muestra el perfil de índice de refracción real $\Delta n(r)$, medido experimentalmente, de una fibra óptica 10 según la invención, producida por el solicitante.

Tal como se puede apreciar, dicho perfil es similar a un perfil del tipo beta.

30 El semi-área subtendida mediante este perfil de índice es de aproximadamente 0,0186 μm.

35 Las mediciones experimentales realizadas sobre la fibra óptica que tiene el perfil de índice de la figura 10 han mostrado que la longitud de onda de corte de la fibra de 2 m (ITU-T G652) para el primer modo de propagación de orden superior LP₁₁ de dicha fibra es de aproximadamente 1069 nm, mientras que la longitud de onda de corte de la fibra de 2 m (ITU-T G652) para el segundo modo de propagación de mayor orden LP₀₂ es de aproximadamente 690 nm.

40 Además, las mediciones experimentales han mostrado que, en la condición de propagación de dos modos (a una longitud de onda de señal de aproximadamente 850 nm) de la fibra óptica que tiene el perfil de índice de refracción de la figura 10,

* la diferencia Δt del retardo de propagación de los dos modos LP₀₁ y LP₁₁ es de aproximadamente 0,8 ns/km;

45 * la atenuación debida a la macro-flexión, calculada sobre una fibra enrollada una vuelta alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 40 mm es de aproximadamente 0,28 dB para el modo LP₁₁, y es insignificante para el modo LP₀₁; y

50 * la atenuación debida a la macro-flexión, calculada sobre una fibra de una vuelta enrollada alrededor de un mandril que tiene un diámetro de 32 mm es de aproximadamente 0,42 dB para el modo LP₁₁, y es insignificante para el modo LP₀₁.

55 Por otro lado, en cuanto a la condición de propagación de un solo modo (en las longitudes de onda de señal de aproximadamente 1310 y 1550 nm), las mediciones experimentales han mostrado que la fibra óptica que tiene el perfil de índice de refracción de la figura 10 tiene las características resumidas en la Tabla 7.

TABLA 7

	@ 1310 nm	@ 1550 nm
Dispersión cromática (ps/(nm * km))	-3,6	13,2
Pendiente de dispersión cromática (ps/(nm ² * km))	0,089	0,055
MFD (µm)	8,7	10,1
Macro-flexión después de 100 vueltas con Ø de 60 mm (dB)	< 10 ⁻³	0,2
Macro-flexión después de 1 vuelta con Ø de 40 mm (dB)	< 10 ⁻³	0,15
Macro-flexión después de 1 vuelta con Ø de 32 mm (dB)	< 10 ⁻³	0,37
Micro-flexión (dB/km)/(g/mm)	0,9	7,5
Atenuación (dB/km)	0,38	0,199

5 A partir de la Tabla 7 se puede observar que el valor de la macro-flexión medida después de 100 vueltas de fibra enrollada en un mandril de diámetro de 60 mm es menor de 0,5 dB.

10 Además, a partir de la Tabla 7 se puede observar que la fibra óptica que tiene el perfil de índice de refracción de la figura 10 tiene los valores de dispersión cromática y de pendiente de dispersión cromática comparables, o mejores, que las fibras ópticas de acuerdo con el estándar ITU-T G652.

Además, el MFD y los valores de área efectiva son tales como para garantizar bajas pérdidas de unión, conexión y acoplamiento.

15 La fibra óptica de la invención permite así la aplicación de una manera eficaz una red de distribución de señal con componentes optoelectrónicos (fuentes de luz y detectores) a bajo coste, que operan a aproximadamente 850 nm, y es ampliable para funcionar de una manera eficaz en una región de propagación de un solo modo a aproximadamente 1300 y/o 1550 nm.

20 Las mediciones experimentales se han realizado en un cable con una longitud de unos 60 m, que comprende una fibra óptica que tiene el perfil de índice de la figura 10, insertado en una pista de pruebas que simula una trayectoria de enrollado típica de una instalación en un edificio.

Dichos ensayos experimentales han demostrado que la fibra óptica tiene una atenuación total de 0,2 dB a 1550 nm.

25 Además, las mediciones experimentales se han realizado, adaptadas para medir - en presencia de ciclos térmicos - la atenuación de la fibra óptica que tiene el perfil de índice de la figura 10 dispuesta en un cable óptico. Dichos ensayos experimentales han mostrado que los valores de atenuación (dB/km) de dicha fibra a 1310 nm y 1550 están de acuerdo con los valores proporcionados por el estándar ITU-T.

30 Para un perfil de índice de refracción real (tal como por ejemplo, el de la figura 10) que tiene, como el perfil beta, una pequeña disminución en el centro del núcleo 14 (típico del proceso de producción OVD), una porción central con un patrón similar a una super-gaussiana y una cola externa, el solicitante ha encontrado que es posible determinar los parámetros g, V, a y Δn₀ de acuerdo con las etapas descritas a continuación:

35 a) filtrar el perfil real medido por el ruido de medición, por ejemplo con un filtro de paso bajo (numérico), o con un proceso de media móvil;

40 b) determinar el radio r_{dip} que define la extensión máxima de la pequeña disminución. Típicamente, se puede determinar como el radio al que corresponde el valor máximo tomado por el perfil (Δn_{massimo}). Dicho radio r_{dip} varía típicamente entre aproximadamente 0,3 y 2,5 µm;

c) determinar el radio r_{max} al que corresponde el Δn mínimo medible del perfil, de acuerdo con la sensibilidad del instrumento. Típicamente, Δn = 0,0001;

45 d) realizar una interpolación de acuerdo con el mejor procedimiento de ajuste del perfil medido entre r_{dip} y r_{max} utilizando la familia de funciones super-gaussianas Δn(r) = Δn₀ exp[-(1/2)(r/a)^g] cuando cambian los parámetros Δn₀, a, g. El proceso de interpolación permite la determinación de los valores de los tres parámetros que minimizan la desviación entre una super-gaussiana y el perfil medido.

50 e) calcular $V = (2\pi a/\lambda) \sqrt{2} * (n\Delta n_0)$.

Por ejemplo, mediante la aplicación de este procedimiento al perfil de índice real de la figura 10, los siguientes

valores de g , V , a y Δn_0 se han obtenido:

$$g = 3,85 -$$

$$5 \quad a = 3,27 \text{ (}\mu\text{m)}$$

$$\Delta n_0 = 5,62 \cdot 10^{-3}$$

$$10 \quad V = 3,09$$

A partir de la figura 13, se puede observar que el punto ($V = 3,09$; $g = 3,85$) es en la zona delimitada por las líneas 502.

15 El procedimiento anterior puede ser utilizado también para un perfil de índice de refracción real del tipo beta sin la pequeña disminución. En este caso, la etapa b) debe omitirse, y la etapa d) se debe realizar en el perfil medido entre $r = 0$ y r_{max} .

20 La fibra óptica 10 de la invención está adaptada para ser utilizada en una red para la distribución de señales a una pluralidad de equipos de usuario.

La figura 3 muestra una realización de acuerdo con la invención, de una red 100 para distribuir señales a una pluralidad de equipos eléctricos de usuario 42 que comprende una unidad de distribución 40, una pluralidad de cables de ópticos 1 y una pluralidad de dispositivos de conversión optoelectrónicos 62.

25 Para simplificar la ilustración, en la realización de la figura 3 se muestran tres cables ópticos 62 y tres equipos eléctricos de usuario 42.

Los cables ópticos 1 hacen que la unidad de distribución 40 se comuniquen con el equipo eléctrico de usuario 42.

30 Más en particular, los cables ópticos 1 están conectados a tres puertos ópticos de entrada/salida 43 de la unidad de distribución 40 para el transporte de señales ópticas desde dicha unidad hacia los dispositivos de conversión optoelectrónicos 62. Dichos dispositivos de conversión optoelectrónicos 62 comprenden un fotodetector convencional (no mostrado) para la conversión de señales ópticas procedentes de la unidad de distribución 40 en señales eléctricas correspondientes, y su envío al equipo eléctrico de usuario 42 correspondiente.

35 Típicamente, los dispositivos de conversión optoelectrónicos 62 también comprenden dispositivos destinados para adaptar las señales eléctricas en la salida desde los fotodetectores de acuerdo con los requisitos físicos y a los protocolos requeridos por el equipo de usuario 42, por ejemplo, el protocolo de Internet, o los protocolos típicos de señales de televisión digitales o analógicas, o de señales telefónicas.

40 Además, el cable óptico 1 comprende al menos una fibra óptica 10 según la invención.

45 Uno de los dos extremos de la fibra óptica 10 está acoplado a un puerto óptico del fotodetector del dispositivo de conversión optoelectrónico 62, mientras que el otro extremo está acoplado a uno de los puertos ópticos 43 de dicha unidad de distribución 40.

50 Según una variante, los cables ópticos 1 son ventajosamente bidireccionales, para permitir una propagación de las señales desde el equipo eléctrico de usuario 42 a la unidad de distribución 40, y desde la unidad de distribución 40 al equipo de usuario 42.

55 En el caso bidireccional, cada dispositivo de conversión optoelectrónico 62 comprende una fuente láser convencional para convertir las señales eléctricas procedentes del equipo de usuario 42 en las correspondientes señales ópticas y enviarlas a través de los cables ópticos 1 a la unidad de distribución 40, y un fotodetector para convertir señales ópticas procedentes de la unidad de distribución 40 en correspondientes señales eléctricas, y proporcionarlas al equipo eléctrico de usuario 42.

Típicamente, las fuentes láser emiten una radiación electromagnética que es de amplitud modulada mediante la modulación de la corriente de suministro láser, o mediante moduladores de amplitud convencionales de acuerdo con la información transportada por las señales eléctricas procedentes del equipo de usuario 42.

60 Además, en el caso bidireccional, cada cable óptico 1 tiene típicamente una primera y una segunda fibra óptica 10 según la invención. La primera fibra óptica está conectada a la fuente láser del dispositivo de conversión optoelectrónico 62, y está adaptada para transmitir señales ópticas desde el equipo de usuario 42 correspondiente a la unidad de distribución 40. A su vez, la segunda fibra óptica está conectada al fotodetector del dispositivo de conversión optoelectrónico 62 y está adaptado para transmitir señales ópticas desde la unidad de distribución 40 al equipo de usuario 42 correspondiente.

65

Según una variante, cada cable óptico 1 tiene una sola fibra óptica 10 según la invención, adaptada para transmitir las señales ópticas en las dos direcciones y conectada, a través de un acoplador óptico convencional o un circulador óptico convencional, a la fuente láser y al fotodetector del dispositivo de conversión optoelectrónico 62.

5 Según otra variante, las señales ópticas que viajan en las dos direcciones tienen diferentes longitudes de onda, y los acopladores son ventajosamente selectivos de longitud de onda, tal como, por ejemplo, dispositivos de multiplexación/demultiplexación de longitud de onda convencionales.

10 En esta última variante, las dos longitudes de onda diferentes en las dos direcciones de propagación de las señales ópticas pueden seleccionarse, por ejemplo, como una por debajo de la longitud de onda de corte para el primer modo de orden superior LP_{11} de la fibra óptica 10, de modo que opere en una condición de propagación de pocos modos, y la otra por encima de la longitud de onda de corte para el primer modo de orden superior LP_{11} de la fibra óptica 10, de modo que opere en una condición de propagación de un solo modo. Por ejemplo, en el caso de fibras ópticas 10 que tienen los perfiles de índice de refracción de las figuras 1, 2 y 10, las dos longitudes de onda pueden ser de aproximadamente 850 y 1310 ó 1550 nm.

20 En caso de una condición de propagación de pocos modos de la fibra óptica 10, la fuente láser de los dispositivos de conversión optoelectrónicos 62 es, por ejemplo, una fuente láser del tipo VCSEL (láser de emisión de superficie de cavidad vertical) con emisión a la longitud de onda de aproximadamente 850 nm.

A su vez, el fotodetector de los dispositivos de conversión optoelectrónicos 62 es, por ejemplo, un fotodiodo convencional del tipo PIN con recepción en una banda de longitudes de onda centrada en aproximadamente 850 nm.

25 Dichos tipos de láser y fotodetector están disponibles en el mercado a un precio bajo.

30 En el caso de la condición de propagación de un solo modo de la fibra óptica 10, la fuente láser es, por ejemplo, un láser convencional del tipo Fabry-Perot, o un láser semiconductor convencional del tipo DFB o DBR, con emisión en las bandas de 1300-1350 nm o 1480-1625 nm.

En un ejemplo, para cubrir una transmisión de hasta 5 km a una longitud de onda de aproximadamente 850 nm, una potencia superior a -20 dBm, en particular de aproximadamente -16 dBm, ha sido acoplada en la fibra óptica 10.

35 En el ejemplo, la sensibilidad del fotodetector era mejor que -32 dBm, en particular, aproximadamente -34 dBm.

Así, la potencia óptica disponible (presupuesto de potencia) en el enlace en la fibra óptica 10 del ejemplo fue superior a 12 dB, en particular, fue de aproximadamente 18 dB.

40 Las fuentes láser y los fotodetectores de los dispositivos de conversión optoelectrónicos 62 están conectados típicamente a las fibras ópticas 10 de la invención a través de los conectores ópticos convencionales.

45 Los dispositivos de conversión optoelectrónicos 62 están conectados al respectivo equipo eléctrico de usuario 42 a través de cables eléctricos (no mostrados), preferiblemente a través de conectores.

Los cables eléctricos son típicamente de tipo UTP-5 convencional, típicamente terminados con conectores convencionales del tipo RJ-45, o cables coaxiales convencionales con conectores correspondientes.

50 Además de las fibras ópticas 10, los cables ópticos 1 comprenden también un recubrimiento de plástico para el recubrimiento de las fibras, y una funda exterior de plástico.

Además, entre el recubrimiento de plástico de las fibras ópticas 10 y la funda exterior de plástico, los cables ópticos 1 también comprenden un elemento de refuerzo, tal como por ejemplo una pluralidad de hilos longitudinales hechos de Kevlar™ (no mostrados), que son flexibles y resistentes a la resistencia a la tracción.

55 Por ejemplo, los cables ópticos 1 son del tipo divulgado en la solicitud de patente EP 0 829 742 presentada por el solicitante, o que son del tipo de cinta.

60 Según una variante, los cables ópticos 1 comprenden también uno o más conductores eléctricos adaptados, por ejemplo, para llevar una corriente de suministro.

Sin embargo, se prefiere la variante de cables ópticos 1 sin conductores eléctricos, ya que tiene la ventaja de insertarse en los mismos conductos para cables que se utilizan para la distribución de energía eléctrica sin ningún problema de seguridad eléctrica.

65 En la realización de la figura 4, la red de distribución 100 está adaptada para enviar señales ópticas (preferiblemente

que transportan información digital) que provienen desde una línea de fibra óptica 46 al equipo eléctrico de usuario 42.

5 En esta realización, la unidad de distribución 40 es un aparato óptico que comprende, por ejemplo, un divisor convencional adaptado para dirigir las señales ópticas procedentes de la línea de fibra óptica 46 a los tres puertos ópticos de entrada/salida 43.

10 En esta realización, las fibras ópticas 10 de los tres cables ópticos 1 preferiblemente se sujetan a los puertos ópticos 43 de dicha unidad de distribución 40 a través de una unión de fusión.

Según una variante, dichas fibras ópticas 10 están mecánicamente conectadas a los puertos ópticos 43 de dicha unidad de distribución 40 a través de conectores ópticos convencionales.

15 En la realización de la figura 5, la red de distribución 100 es similar a la de la figura 4, excepto en que la unidad de distribución 40 está adaptada para comprender equipos optoelectrónicos 48 y 49.

Más en particular, la unidad de distribución 100 está adaptada para recibir, desde una pluralidad de puertos eléctricos de entrada/salida 47, una pluralidad de señales eléctricas de entrada (preferentemente del tipo digital) procedentes de una pluralidad de cables eléctricos 44; para enviarlos a una unidad de procesamiento eléctrico 48 que las procesa según las aplicaciones; para proporcionar una pluralidad de señales eléctricas de salida; para transformarlas en las correspondientes señales ópticas a través de convertidores optoelectrónicos 49; para proporcionarlas a los puertos ópticos de entrada/salida 43 y para enviarlas, a través de la transmisión sobre los cables ópticos 1, a los dispositivos de conversión optoelectrónicos 62, y así al equipo eléctrico de usuario 42.

25 Además, la unidad de distribución 40 también está ventajosamente adaptada para recibir desde los puertos ópticos 43, las señales ópticas procedentes - a través de los cables ópticos 1 - desde el equipo de usuario 42; para convertirlas en correspondientes señales eléctricas a través de los convertidores optoelectrónicos 49; para enviarlas a la unidad de procesamiento eléctrico 48, que las procesa de acuerdo con las aplicaciones, y para proporcionar una pluralidad de señales eléctricas de salida a los puertos eléctricos de entrada/salida 47.

30 La unidad de procesamiento eléctrico 48, por ejemplo, está adaptada para demodular las señales eléctricas digitales procedentes de los puertos de entrada/salida 47, para amplificar y, opcionalmente, para modularlas de acuerdo con un formato de modulación convencional y/o para seleccionar la(s) señal(es) para enviarlas en cada cable óptico 1. Además, también está adaptada, por ejemplo, para demodular las señales eléctricas digitales procedentes de los convertidores optoelectrónicos 49, para amplificarlas y opcionalmente, para modularlas de acuerdo con un formato de modulación convencional y/o para seleccionar la(s) señal(es) para enviarlas en cada puerto de entrada/salida 47.

35 Típicamente, los convertidores optoelectrónicos 49 comprenden fuentes láser que emiten una radiación electromagnética que es modulada en amplitud mediante la modulación de la corriente de suministro láser, o mediante moduladores de amplitud convencionales de acuerdo con la información transportada por las señales eléctricas en la salida de dicha unidad de procesamiento 48.

40 Además, en el caso bidireccional, también comprenden ventajosamente fotodetectores convencionales adaptados para recibir las señales ópticas procedentes de los puertos ópticos 43; para convertirlas en señales eléctricas correspondientes, y para proporcionarlas a la unidad de procesamiento 48.

45 En el caso de la condición de propagación de pocos modos de la fibra óptica 10, la fuente láser de los convertidores optoelectrónicos 49 es, por ejemplo, una fuente láser de tipo VCSEL, con emisión a la longitud de onda de aproximadamente 850 nm.

50 A su vez, el fotodetector de los convertidores optoelectrónicos 49 es, por ejemplo, un fotodiodo convencional del tipo PIN, con la recepción en una banda de longitudes de onda centradas en aproximadamente 850 nm.

Dichos tipos de láser y el fotodetectores están disponibles en el mercado a un precio bajo.

55 En el caso de la condición de propagación de un solo modo de la fibra óptica 10, la fuente láser es, por ejemplo, un láser convencional del tipo Fabry-Perot, o un láser semiconductor convencional del tipo DFB o DBR con emisión en las bandas de 1300-1350 nm o 1480-1625 nm.

60 A su vez, el fotodetector es, por ejemplo, un fotodiodo convencional del tipo PIN con recepción en la banda de longitudes de onda de 1300-1350 nm o 1480-1625 nm.

Las fuentes láser y los fotodetectores de los convertidores optoelectrónicos 49 están típicamente conectados a las fibras ópticas 10 de la invención a través de los conectores ópticos convencionales.

65 En la realización de la figura 6, la red de distribución 100 es similar a la de la figura 5, excepto en que la unidad de

distribución 40 también comprende convertidores optoelectrónicos 50, y los puertos de entrada/salida 47 son puertos ópticos en lugar de ser eléctricos.

Más en particular, la unidad de distribución 40 está adaptada para recibir al entrar la pluralidad de puertos ópticos de entrada/salida 47, una pluralidad de señales ópticas (preferiblemente que transportan información digital) procedentes de una pluralidad de fibras ópticas 46; para convertir dichas señales ópticas en correspondientes señales eléctricas a través de los convertidores optoelectrónicos 50; para enviarlas a la unidad de procesamiento eléctrico 48 que las procesa de acuerdo con la aplicación y proporciona una pluralidad de señales eléctricas en la salida; para transformar dichas señales eléctricas en señales ópticas correspondientes a través de los convertidores optoelectrónicos 49; para proporcionar dichas señales ópticas a los puertos ópticos de entrada/salida 43 y para enviar, a través de la transmisión sobre los cables ópticos 1, al equipo eléctrico de usuario 42.

Además, la unidad de distribución 40 también está ventajosamente adaptada para recibir, desde los puertos ópticos 43, las señales ópticas procedentes - a través de una transmisión sobre los cables ópticos 1 - desde el equipo de usuario 42; para convertirlas en correspondientes señales eléctricas a través de los convertidores optoelectrónicos 49; para enviarlas a la unidad de procesamiento eléctrico 48 que las procesa; para proporcionar una pluralidad de señales eléctricas digitales a los convertidores optoelectrónicos 50, que las convierte en señales ópticas correspondientes, para proporcionar dichas señales ópticas a los puertos de entrada/salida 47 y para enviarlas a lo largo de la pluralidad de fibras ópticas 46.

La figura 7 muestra un ejemplo de la realización de la figura 6, en la que la red 100 es una red para la distribución de señales digitales a una pluralidad de usuarios de acuerdo con un protocolo Fastethernet™ de 100 Mbit/s. Dichas señales llegan en forma óptica a un puerto óptico 47 desde una fibra óptica de entrada 51 y se convierten en señales eléctricas correspondientes por un convertidor optoelectrónico 50. Las señales eléctricas son procesadas por la unidad de procesamiento 48, que está adaptada para seleccionar la señal digital destinada a cada usuario (por ejemplo, una señal digital de acuerdo con un protocolo Ethernet™ de 10 Mbit/s) y enviarla al correspondiente convertidor optoelectrónico 49. Dicho convertidor convierte la señal digital eléctrica destinado al usuario en una señal óptica correspondiente, y la envía al equipo eléctrico 42 de ese usuario a través del cable óptico 1 relevante.

Además, en esta variante de la figura 7, cada equipo eléctrico de usuario 42 está adaptado para enviar una señal digital de acuerdo con un protocolo Ethernet™ de 10 Mbit/s a la unidad de distribución 40. Cada señal digital procedente de los cables ópticos 1 a uno de los puertos ópticos 43 se convierte en una señal eléctrica correspondiente mediante el convertidor optoelectrónico 49 correspondiente, y se envía a la unidad de procesamiento 48, que la procesa de acuerdo con las aplicaciones. Esta última, entre otras cosas, multiplexa en el tiempo las señales anteriores procedentes del diferente equipo de usuario 42, y proporciona una señal eléctrica multiplexada en el tiempo, de acuerdo con el protocolo Fastethernet™ de 100 Mbit/s del convertidor optoelectrónico 50. Dicho convertidor 50 convierte dicha señal eléctrica multiplexada en una señal óptica correspondiente, y la envía a un puerto óptico 47 conectado a una fibra óptica de salida 52.

En el ejemplo de la figura 7, la unidad de procesamiento 48 es, por ejemplo, un enrutador CATALYST 2900 XL producido por CISCO SYSTEMS.

En la realización de la figura 12, la red de distribución 100 es similar a la de la figura 6, excepto en que la unidad de distribución 40 comprende también puertos eléctricos de entrada/salida 47 y redes domésticas (o de hogares) 601 y 603, además de la red del edificio o local consistente en la pluralidad de cables ópticos 1 que se extienden entre la red de distribución 40 y las redes domésticas 601, 603.

Más en particular, la unidad de distribución 40 está adaptada para recibir en la entrada a la pluralidad de puertos de entrada/salida 47, una pluralidad de señales ópticas (que preferiblemente transportan información digital) procedentes de una pluralidad de fibras ópticas 46, 46', y una pluralidad de señales eléctricas (preferentemente también digitales) procedentes de una pluralidad de cables eléctricos 44.

Las señales transportadas por los diferentes cables eléctricos 44 y las fibras ópticas 46, 46' son, por ejemplo, señales procedentes de diferentes proveedores, tales como, por ejemplo, teléfono, televisión y proveedores de servicios de Internet.

Las señales ópticas procedentes de las fibras ópticas 46 son convertidas en señales eléctricas correspondientes mediante los convertidores optoelectrónicos 50, y se envían a la unidad de procesamiento eléctrico 48. Esta última procesa las señales eléctricas procedentes de los convertidores optoelectrónicos 50 y las procedentes de los cables eléctricos 44 de acuerdo con las aplicaciones, y proporciona una serie de señales eléctricas a cada combinador optoelectrónico 49.

Más en particular, la unidad de procesamiento eléctrico 48 proporciona a cada combinador optoelectrónico 49 las señales que de vez en cuando están destinadas al usuario asociado a la misma, y que provienen de los diversos proveedores.

5 A su vez, cada combinador optoelectrónico 49 está adaptado para transformar (mediante convertidores optoelectrónicos 49') las señales eléctricas en la entrada a las mismas, procedentes de los distintos proveedores, en las correspondientes señales ópticas a diferentes longitudes de onda (típicamente, una longitud de onda para cada proveedor o para cada tipo de servicio); para multiplexarlas en longitud de onda a través de una longitud de onda convencional selectiva o no, al acoplador 41, para proporcionar la señal óptica de división de longitud de onda multiplexada (o WDM) al puerto óptico de entrada/salida 43, y para enviar al usuario asociado a la misma a través de la transmisión en la fibra óptica 10 del cable óptico 1.

10 A su vez, la señal óptica procedente de la fibra óptica 46', que tiene una longitud de onda predeterminada (diferente de las asociadas a los otros proveedores o servicios en la red de distribución), se divide en potencia mediante un acoplador óptico 38 convencional, y se envía directamente a acopladores 41, que se multiplexa junto con las otras señales en longitudes de onda diferentes.

15 Aunque una sola fibra óptica 46' y un solo acoplador óptico 38 se indican en la figura 12, la red puede comprender más acopladores ópticos 38 para la conexión a un número correspondiente de fibras ópticas 46' asociadas a diferentes proveedores o servicios.

20 La señal WDM en la salida desde cada combinador optoelectrónico 49 se envía, a través de cable óptico 1, a la red doméstica 601, 603 correspondiente.

25 La red doméstica 601 es del tipo estrella, y comprende un acoplador 39, una pluralidad de cables ópticos 1 y una pluralidad de dispositivos de conversión optoelectrónicos 62 adaptados para conectarse a una pluralidad de equipos eléctricos de usuario 42 dispuestos, por ejemplo, en s distintas habitaciones de la casa del usuario. Por ejemplo, dichos equipos de usuario 42 pueden ser teléfonos, televisores y/u ordenadores personales.

30 Según una realización, el acoplador 39 es un divisor de haz óptico convencional que divide la potencia óptica de la señal óptica WDM de entrada entre sus salidas que están conectadas a los cables ópticos 1 asociados a los diferentes equipos de usuario 42. Además, cada dispositivo de conversión optoelectrónico 62 - que comprende además un fotodetector convencional y, opcionalmente, en caso de propagación bidireccional, una fuente de luz - también comprende un filtro óptico adaptado para extraer, de la señal óptica WDM, la longitud de onda que lleva la información asociada al equipo de usuario correspondiente a la misma, y para enviarla al fotodetector. Este filtro puede ser fijo, o ajustable de forma automática o manual, por ejemplo a través de control mecánico, térmico o eléctrico. El uso de filtros ajustables permite disponer módulos universales para el dispositivo de conversión optoelectrónico 62, que puede ser utilizado de vez en cuando en la longitud de onda deseada. Dichos módulos pueden comprender también circuitos electrónicos para la conversión de protocolos de señal, de acuerdo con los protocolos del equipo de usuario 42.

35 Según una variante, el acoplador 39 es un dispositivo de demultiplexación de longitud de onda convencional adaptado para demultiplexar la señal óptica WDM de entrada que entra en una pluralidad de señales ópticas a diferentes longitudes de onda, y para encaminarlas a los cables ópticos 1 asociados a los diferentes equipos de usuario 42. En este caso, una longitud de onda preseleccionada llega a cada dispositivo de conversión optoelectrónico 62, y la presencia de un filtro óptico ya no es necesaria.

40 La red doméstica 603 es del tipo de bus. Es totalmente similar a la red doméstica 601, excepto en que la señal WDM que llega desde el cable óptico 1 conectado a la misma se envía al dispositivo de conversión optoelectrónico 62, este último procesa la señal WDM y la envía al dispositivo de conversión optoelectrónico 63 que, a su vez, procesa la señal WDM y la envía al dispositivo de conversión optoelectrónico 64.

45 Más en particular, cada dispositivo de conversión optoelectrónico 62, 63, 64 tiene un filtro del tipo descrito anteriormente, para extraer, de la señal óptica WDM de entrada, la longitud de onda que lleva la información asociada al equipo de usuario correspondiente a la misma, y la envía al fotodetector.

50 En una variante, cada dispositivo de conversión optoelectrónico 62, 63, 64 está adaptado para aprovechar una fracción de potencia desde la señal óptica WDM de entrada, extrayendo la longitud de onda deseada de dicha fracción de potencia y enviando la fracción de potencia restante de la señal óptica WDM al dispositivo de conversión optoelectrónico conectado al mismo. De acuerdo con una variante alternativa, cada dispositivo de conversión optoelectrónico 62, 63, 64 está adaptado para extraer directamente de la señal óptica de entrada la longitud de onda deseada, enviando así la señal óptica WDM con las longitudes de onda restantes al dispositivo de conversión optoelectrónico conectado al mismo.

55 Al principio, cuando los requisitos de la banda no son altas, la transmisión WDM sobre la fibra óptica 10 del cable óptico 1 puede aplicarse ventajosamente en la región de propagación de pocos modos a aproximadamente 850 nm. Por ejemplo, las longitudes de onda de la pluralidad de señales ópticas multiplexadas de longitud de onda se pueden seleccionar en una banda comprendida entre 820-870 nm con una separación de 20 nm, 10 nm, 5 nm o 2 nm.

65

En un momento posterior, cuando los requisitos de la banda son más altos, la transmisión WDM se puede implementar en la región de propagación de un solo modo de la fibra óptica 10 y las longitudes de onda de la pluralidad de señales ópticas multiplexadas de longitudes de onda se puede seleccionar en una banda comprendida, por ejemplo, entre 1300-1350 nm y/o 1480-1625 nm con una separación de 20 nm, 10 nm, 5 nm o 2 nm.

5 Además, la transmisión WDM puede implementarse en la región de propagación de pocos modos y en la región de propagación de un solo modo de la fibra óptica 10.

10 En cuanto a la transmisión en la fibra óptica 10 desde el lado del usuario al lado de la unidad de distribución 40 de la red de distribución de la figura 12, se puede implementar a través de una transmisión WDM de una manera totalmente similar a la previamente descrita para la transmisión desde el lado de la unidad de distribución 40 al lado del usuario. Sin embargo, como que la cantidad de información transmitida desde el lado de usuario al lado de la unidad de distribución 40 está limitada (típicamente, se dirige hacia el control y/o la selección de la información recibida), la transmisión de la fibra óptica 10 desde el lado del usuario al lado de la unidad de distribución 40 se realiza preferiblemente de acuerdo con una transmisión de multiplexación por división de tiempo (o TDM) convencional menos cara. En este caso, la red de distribución también comprende, en cada lado del usuario, una electrónica de gestión de transmisión TDM convencional.

20 Es posible utilizar una o más de las longitudes de onda disponibles para la transmisión, desde la unidad de distribución 40 al equipo de usuario 42, de un canal de servicio por falta de manipulación y/o situaciones de alarma, y/o para permitir la sincronización de las transmisiones TDM en la dirección opuesta. Dicho canal de servicio se acciona en la unidad de distribución 40 a través de una electrónica de control adecuada y un convertidor electro-óptico, y se distribuye a cada dispositivo de conversión optoelectrónico 62 a través de la división de potencia.

25 En general, la red de distribución de señal 100 de la invención puede ser utilizada para la distribución a una pluralidad de equipos de usuario electrónicos 42, a una pluralidad de señales digitales de televisión y/o teléfono y/o Internet procedentes de un satélite de larga distancia y/o cable coaxial y/o fibra óptica y/o la transmisión por aire.

30 Además, por ejemplo, puede utilizarse en redes de distribución LAN.

35 La figura 8 muestra una red de distribución 100 de la invención instalada en un edificio. Más en particular, la unidad de distribución 40 está dispuesta en una bodega o en el sótano 45 del edificio, y los cables ópticos 1 - alojados en un conducto adecuado 53 del edificio - conectan la unidad de distribución 40 al equipo de usuario 42 situado en los diversos pisos del edificio, opcionalmente a través de redes ópticas internas del tipo divulgado con referencia a la figura 12.

REIVINDICACIONES

1. Fibra óptica (10) que tiene un núcleo (14), un revestimiento (12) y un perfil de índice de refracción simple $\Delta n(r)$, donde $\Delta n(r)$ se refiere a la diferencia del índice de refracción entre el núcleo (14) y el revestimiento (12) como una función de la distancia radial r desde el eje longitudinal de la fibra óptica (10), estando dicha fibra óptica (10) adaptada para proporcionar una propagación de un solo modo en longitudes de onda mayores que aproximadamente 1260 nm,
- 5 en la que:
- 10 - el perfil de índice de refracción simple $\Delta n(r)$ es del tipo beta que comprende una porción central que tiene un patrón del tipo super-gaussiano; una cola de difusión externa y , cuando la fibra óptica (10) se produce con un procedimiento de "deposición de vapor exterior" (OVD), una pequeña disminución en el centro del núcleo (14);
- 15 - la semi-área subtendida por la perfil del índice de refracción beta $\Delta n(r)$ es mayor de $0,017 \Delta n \cdot \mu\text{m}$ para proporcionar pérdidas de macro-flexión a 1550 nm que son menores que aproximadamente 0,5 dB después de 100 vueltas sobre un mandril que tiene un diámetro de 60 mm, en el que la semi-área subtendida por el perfil del índice de refracción beta es un área determinada por la integración de $\Delta n(r)$ con la variable r desde cero a un valor radial correspondiente a una porción de revestimiento; **caracterizada porque**
- 20 - la fibra óptica está adaptada para proporcionar una propagación de pocos modos en aproximadamente 850 nm y tiene un valor de frecuencia normalizada V a 850 nm comprendido entre aproximadamente 2,85 y 3,95 para proporcionar un retardo intermodal $\Delta\tau$ a 850 nm que es menor o igual a aproximadamente 1 ns/km.
- 25
2. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, **caracterizada porque** tiene un valor de dispersión cromática a 1550 nm menor o igual que uno de los siguientes valores 20, 19, 18, 17 y 16 ps/(nm*km).
- 30
3. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, **caracterizada porque** tiene un valor de dispersión cromática a 1550 nm menor o igual que 15,4 ps/(nm*km).
- 35
4. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, en la que el retardo intermodal $\Delta\tau$ a 850 nm es menor que aproximadamente 0,5 ns/km.
5. Fibra óptica (10) según la reivindicación 4, en la que el retardo intermodal $\Delta\tau$ a 850 nm es inferior a aproximadamente 0,05 ns/km.
- 40
6. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, en la que las pérdidas de macro-flexión a 1550 nm después de 100 vueltas sobre un mandril que tiene un diámetro de 60 mm son menores que aproximadamente 0,2 dB.
7. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, en la que las pérdidas de micro-flexión a 1550 nm de las fibras ópticas (10) son inferiores a aproximadamente 15 [(dB/km)/(g/mm)].
- 45
8. Fibra óptica (10) según la reivindicación 7, en la que las pérdidas de micro-flexión a 1550 nm de las fibras ópticas (10) son inferiores a aproximadamente 10 [(dB/km)/(g/mm)].
9. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, que tiene un valor de frecuencia normalizada V a 850 nm comprendido entre aproximadamente 3,0 y 3,6.
- 50
10. Fibra óptica (10) según la reivindicación 9, que tiene un valor de frecuencia normalizada V a 850 nm comprendido entre aproximadamente 3,2 y 3,6.
11. Fibra óptica (10) según una de las reivindicaciones 9 ó 10, que ha sido producida con el procedimiento de "deposición de vapor exterior" (OVD).
- 55
12. Fibra óptica (10) según una de las reivindicaciones 9 ó 10, que ha sido producida con el procedimiento "deposición de vapor axial" (VAD).
- 60
13. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, que tiene un valor de Δn_0 comprendido entre aproximadamente $5 \cdot 10^{-3}$ y $7 \cdot 10^{-3}$.
14. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, en la que la semi-área subtendida por el perfil del índice de refracción es mayor que $0,018 \mu\text{m}$.
- 65
15. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, en la que el radio del núcleo de la fibra óptica (10) está comprendido

entre aproximadamente 3 μm y 6 μm .

- 5 16. Fibra óptica (10) según la reivindicación 1, que, fuera del revestimiento (12), está provisto de un recubrimiento exterior de protección hecho de un material polimérico.
17. Fibra óptica (10) según la reivindicación 16, en la que una parte de dicho recubrimiento exterior en contacto con el revestimiento (12) tiene un índice de refracción más alto que el del revestimiento (12) en un intervalo de temperatura comprendido entre 10°C y 60°C.
- 10 18. Fibra óptica (10) según la reivindicación 16, en la que el recubrimiento protector externo consiste en un material capaz de absorber fuertemente la radiación electromagnética.
19. Red (100) para la distribución de señales a una pluralidad de equipos de usuario (42), que comprende
- 15 - una unidad de distribución (40), y
- una pluralidad de cables ópticos (1) adaptados para hacer que dicha unidad de distribución (40) se comunique con dicha pluralidad de equipos de usuario (42), comprendiendo cada cable óptico (1) una fibra óptica (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18.
- 20 20. Red de distribución (100) según la reivindicación 19, en la que cada cable óptico (1) también comprende una segunda fibra óptica (10).
- 25 21. Red de distribución (100) según la reivindicación 19, que también comprende una pluralidad de dispositivos de conversión optoelectrónicos (62, 49, 49') en comunicación con la pluralidad de cables ópticos (1).
22. Red de distribución (100) según la reivindicación 21, en la que cada dispositivo de conversión optoelectrónico (62, 49, 49') comprende un fotodetector.
- 30 23. Red de distribución (100) según la reivindicación 21 ó 22, en la que cada dispositivo de conversión optoelectrónico (62, 49, 49') comprende una fuente de luz.
24. Red de distribución (100) según la reivindicación 23, en la que dicha fuente de luz está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 820 y 870 nm.
- 35 25. Red de distribución (100) según la reivindicación 24, en la que dicha fuente de luz está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 830 y 860 nm.
26. Red de distribución (100) según una de las reivindicaciones 24 ó 25, adaptada para transmitir, en la condición de propagación de pocos modos, señales ópticas a velocidades de bits que son mayores o iguales que 2,5 Gbit/s en un enlace de aproximadamente 300 m de longitud.
- 40 27. Red de distribución (100) según una de las reivindicaciones 23 a 26, en la que la fuente de luz de al menos parte de los dispositivos de conversión optoelectrónicos (62, 49, 49') está adaptada para operar a una longitud de onda comprendida entre aproximadamente 1300 nm y 1625 nm.
- 45 28. Red de distribución (100) según una de las reivindicaciones anteriores 19 a 27, en la que la unidad de distribución (40) está adaptada para multiplexar una pluralidad de señales a diferentes longitudes de onda en una sola señal óptica WDM y enviar a dicha señal WDM a lo largo de al menos uno de dichos cables ópticos (1).
- 50 29. Red de distribución (100) según una de las reivindicaciones anteriores 19 a 28, que comprende - en el lado del usuario - por lo menos una red doméstica (601, 603) conectada a un cable óptico (1) correspondiente y adaptado para enviar las señales procedentes desde el cable óptico (1) a una pluralidad de equipos de usuario (42).
- 55 30. Red de distribución según con la reivindicación 29, en la que la red doméstica (601, 603) es del tipo de inicio.
31. Red de distribución (100) según la reivindicación 29, en la que la red doméstica (601, 603) es del tipo de bus.
32. Red de distribución (100) según las reivindicaciones 28 y 29, en la que la red doméstica (601, 603) comprende un acoplador óptico (39) de longitud de onda selectiva adaptado para demultiplexar la longitud de onda de la señal óptica WDM entrante en su entrada.
- 60 33. Red de distribución (100) según las reivindicaciones 28 y 29, en la que la red doméstica (601, 603) comprende un acoplador óptico (39) adaptado para dividir la potencia de la señal óptica WDM entrante en su entrada.
- 65 34. Cable óptico (1) adaptado para ser utilizado en una red de distribución de señal (100) que comprende al menos

una fibra óptica (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18.

35. Uso de una fibra óptica (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18 para la producción de una red de distribución de señal (100) para la distribución de señales a una pluralidad de equipos de usuario (42).

5 36. Uso de una fibra óptica (10) según la reivindicación 35, en la que dicha red de distribución de señal (100) es adecuada para operar con señales ópticas que tienen una longitud de onda seleccionada entre 820 y 870 nm.

10 37. Uso de una fibra óptica (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18 para la transmisión de señales ópticas en aproximadamente 850 nm.

38. Uso de una fibra óptica (10) según la reivindicación 37 para la transmisión de señales ópticas a longitudes de onda comprendidas entre aproximadamente 820 y 870 nm.

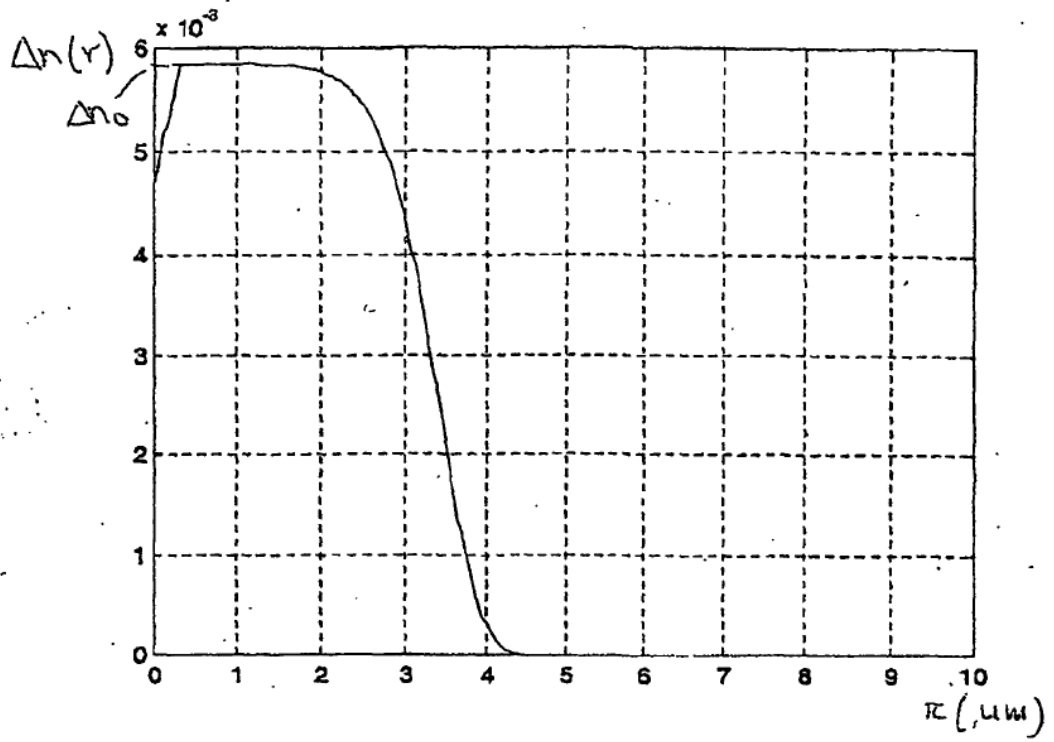


Fig. 1

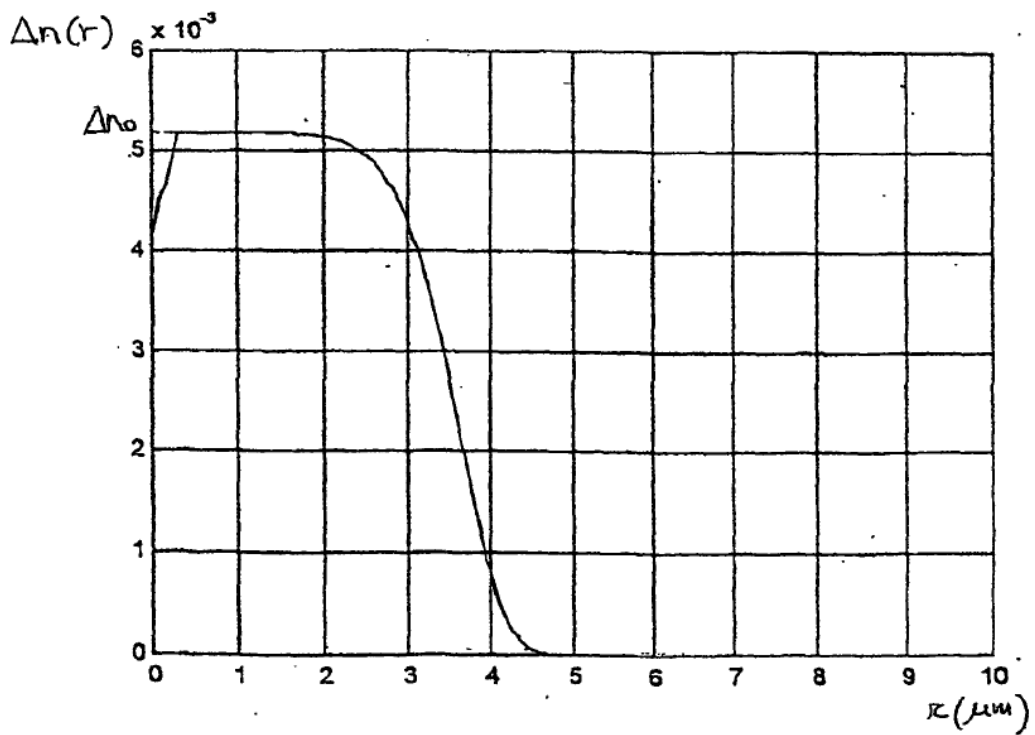


Fig. 2

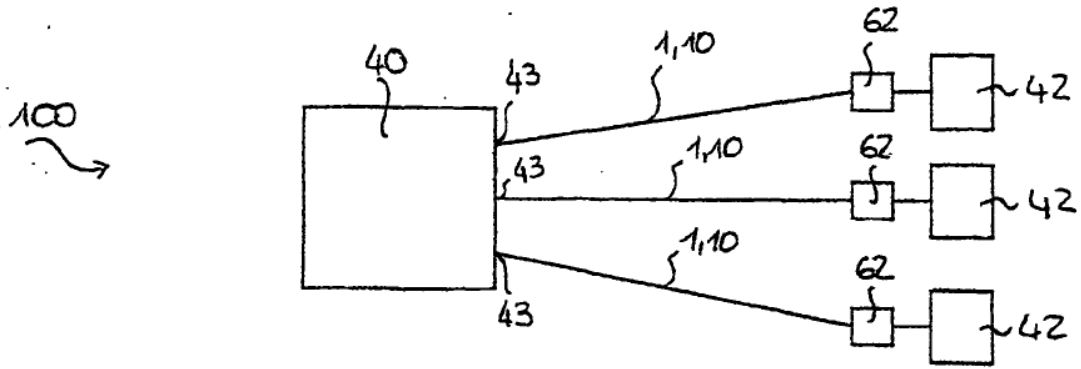


Fig. 3

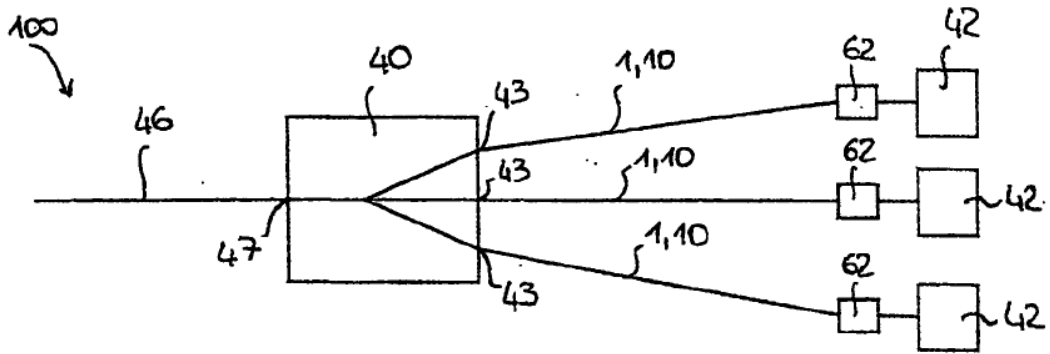


Fig. 4

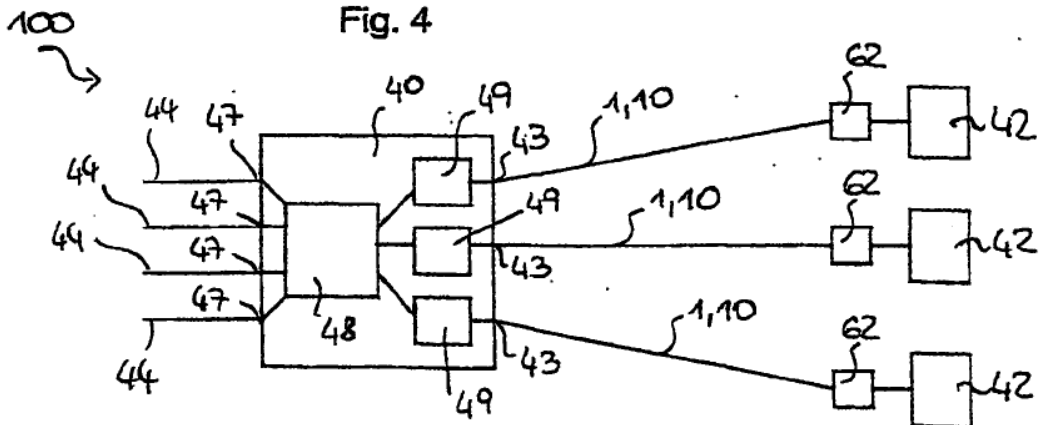


Fig. 5

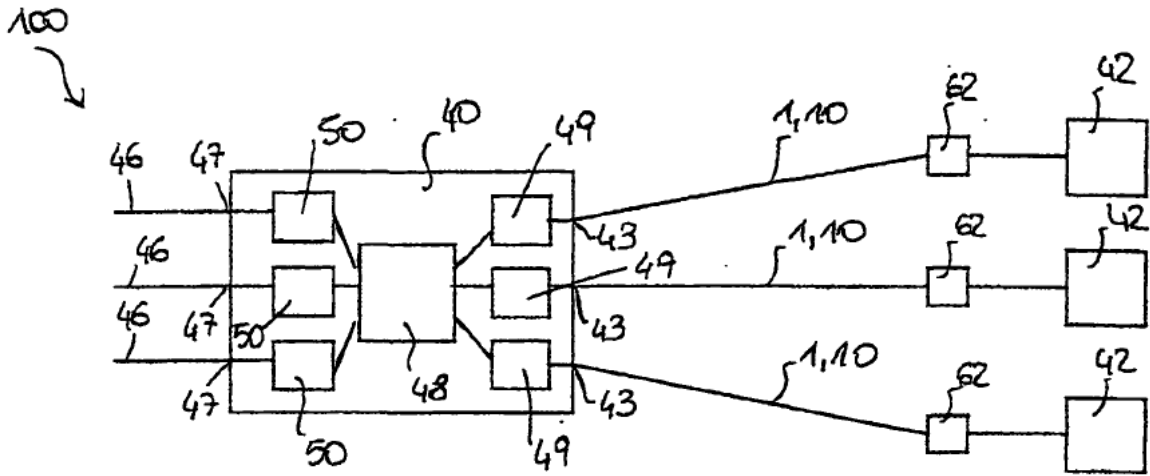


Fig. 6

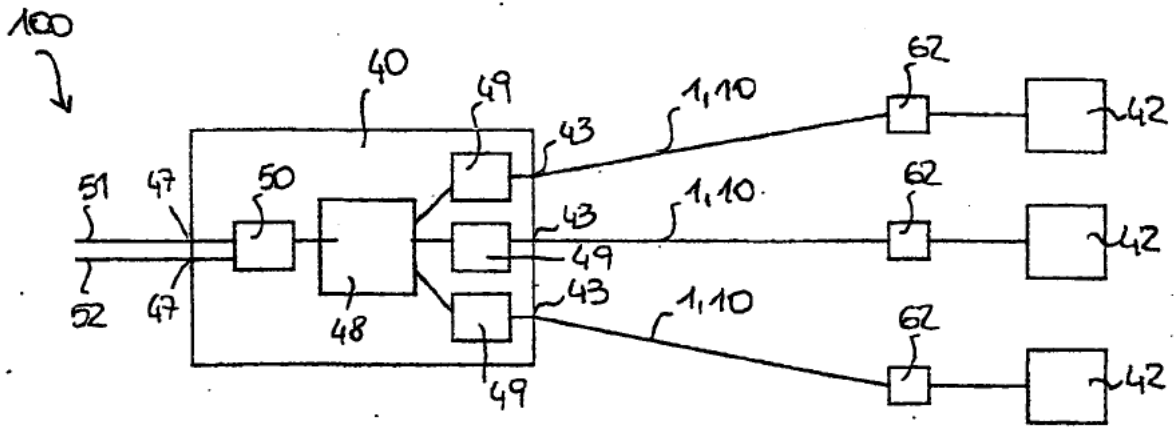


Fig. 7

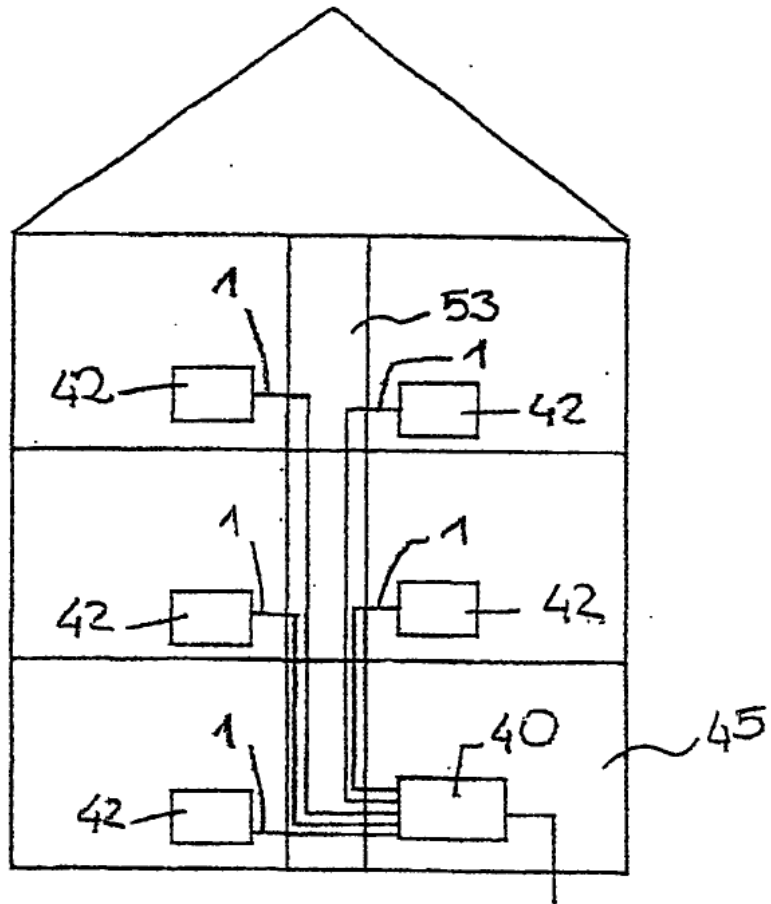


Fig. 8

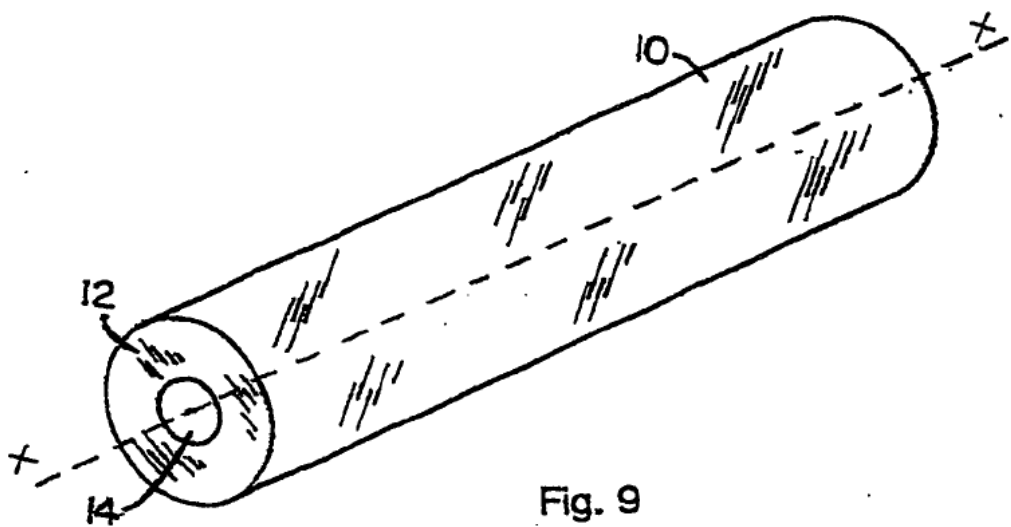


Fig. 9

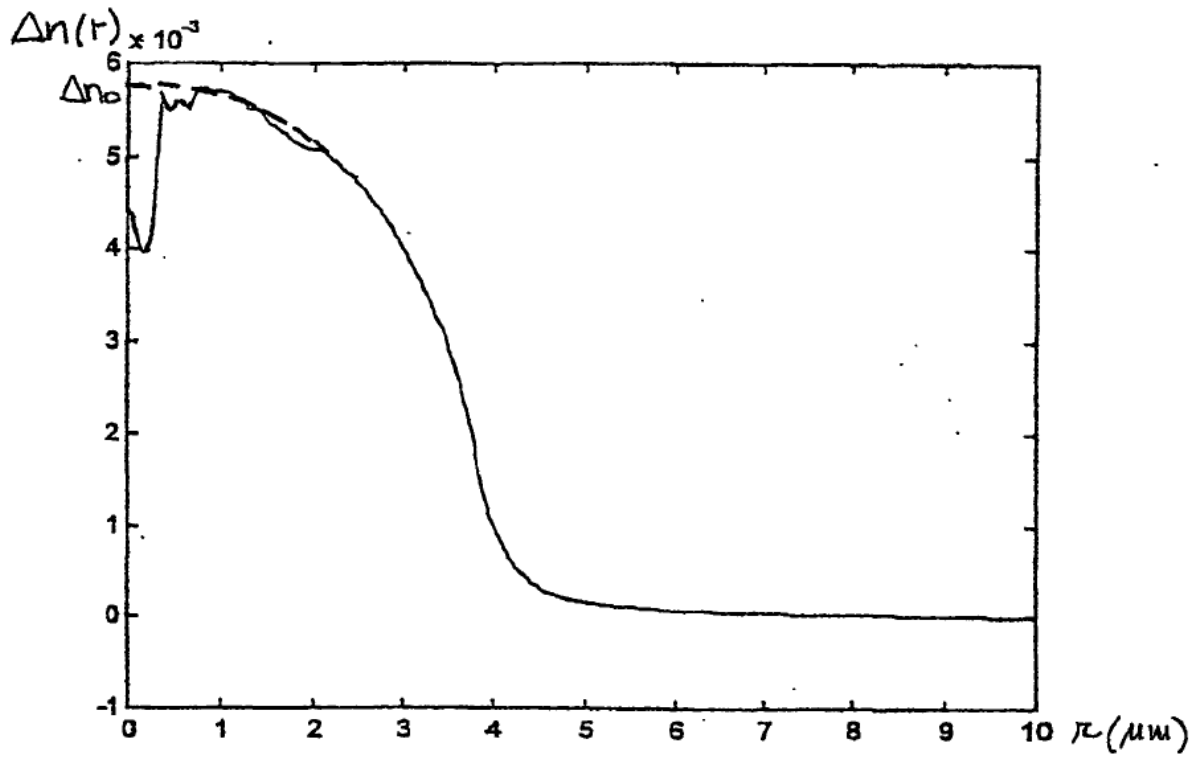


Fig. 10

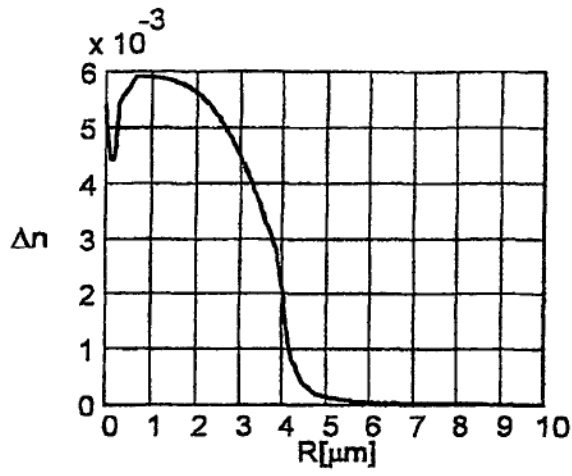


Fig. 11a

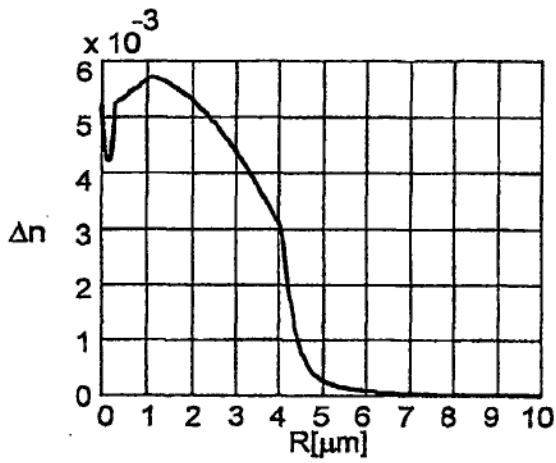


Fig. 11b

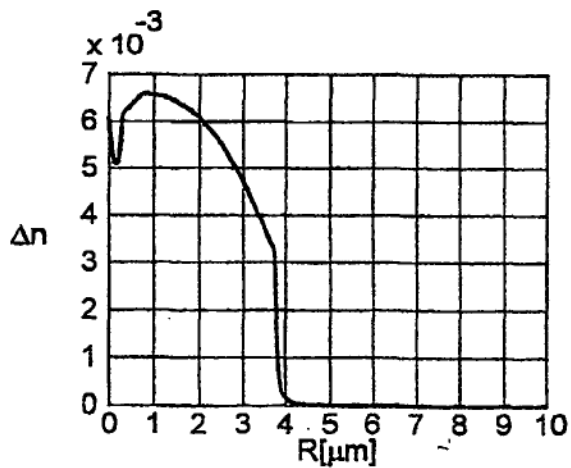


Fig. 11c

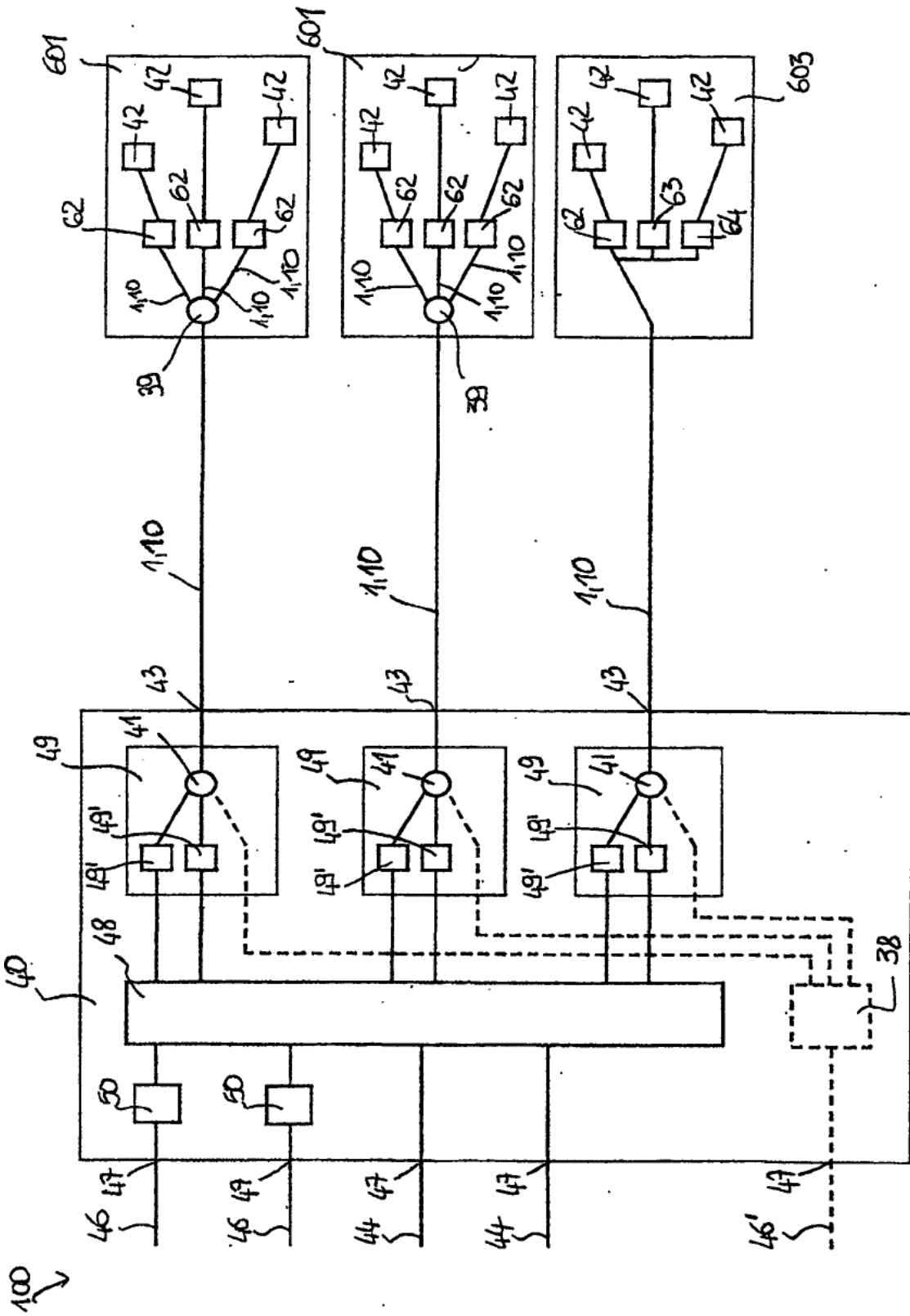


Fig. 12

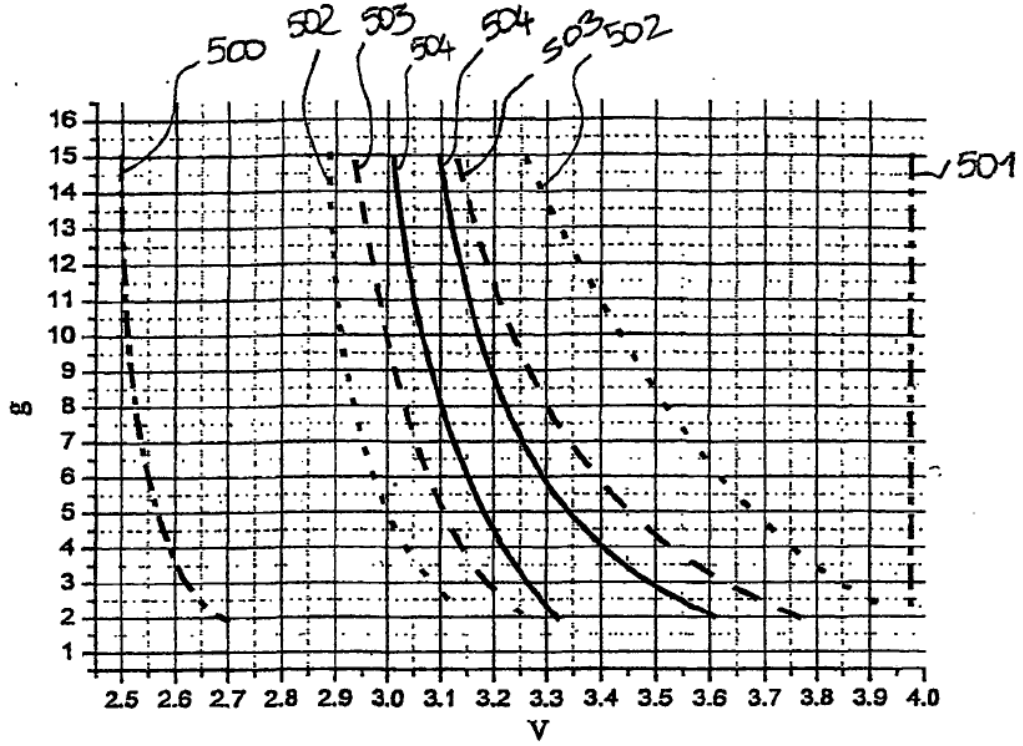


Fig. 13

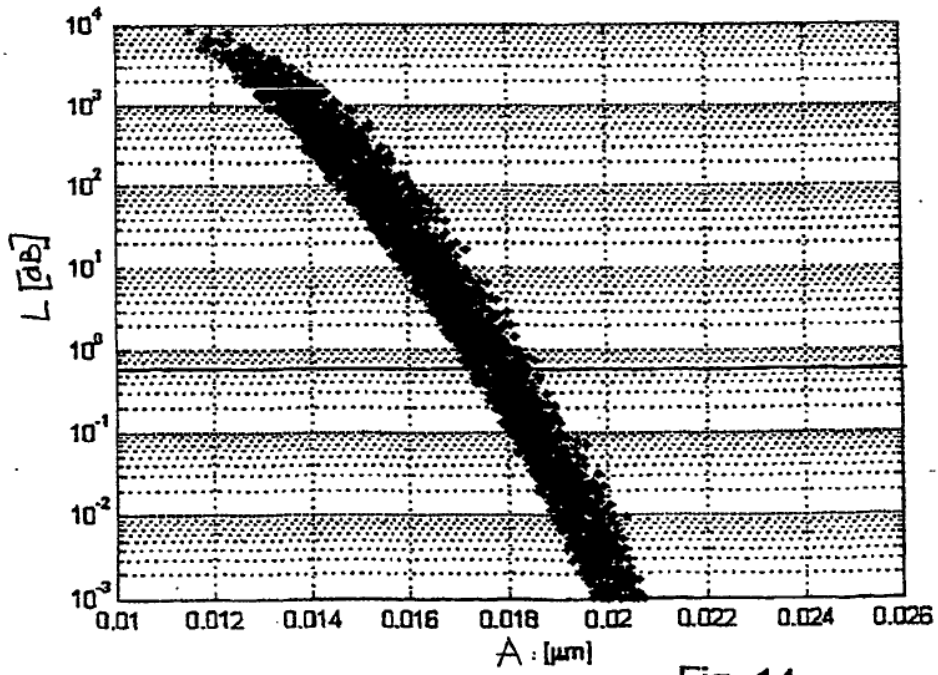


Fig. 14

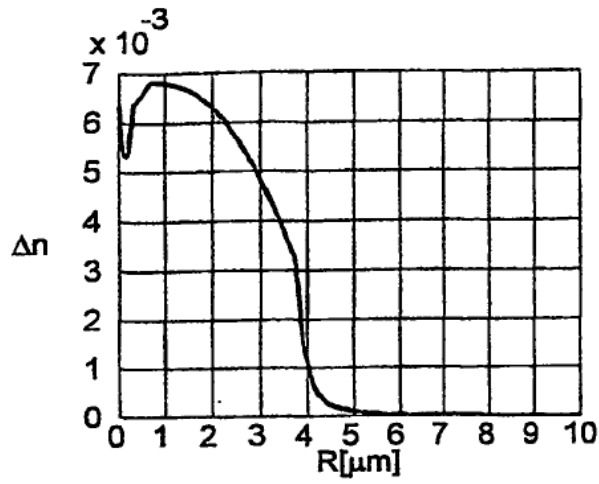


Fig. 15a

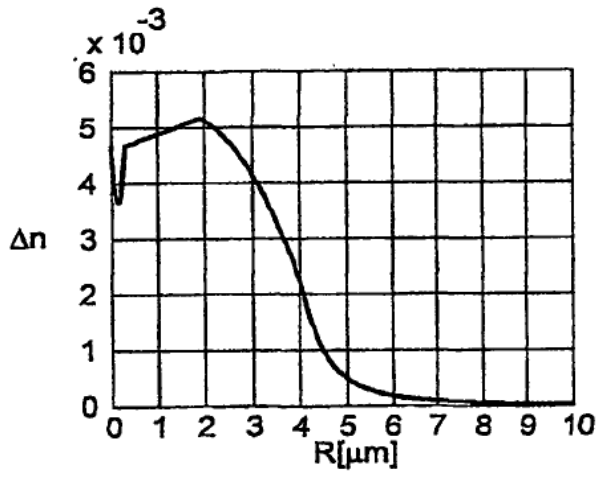


Fig. 15b

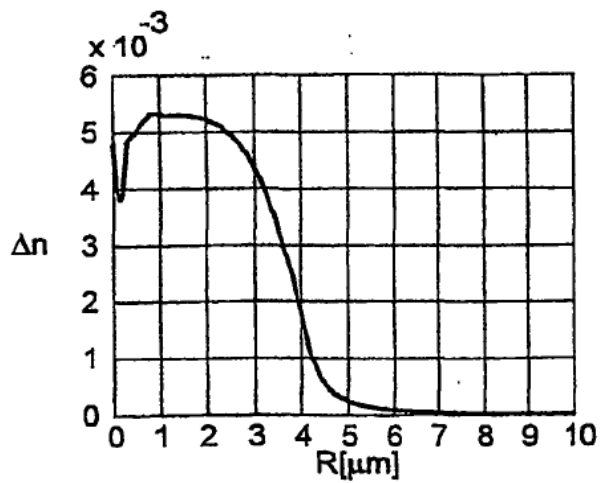


Fig. 15c

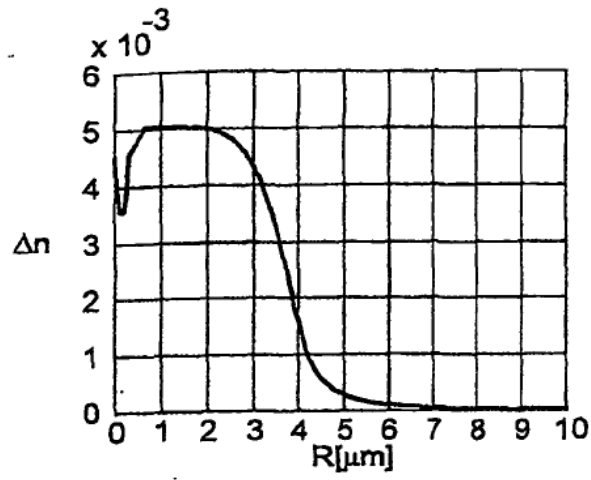


Fig. 16a

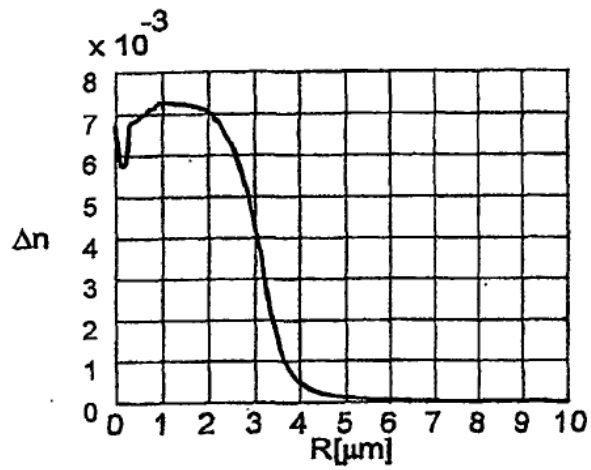


Fig. 16b

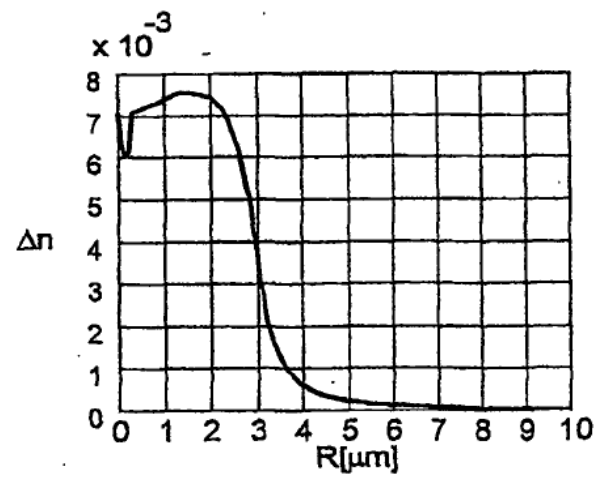


Fig. 16c

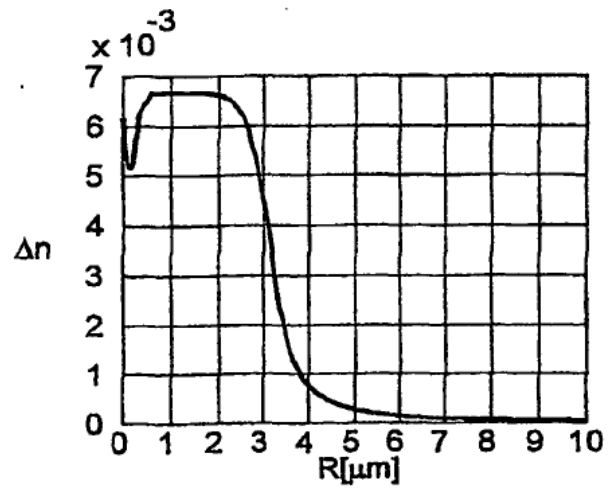


Fig. 17a

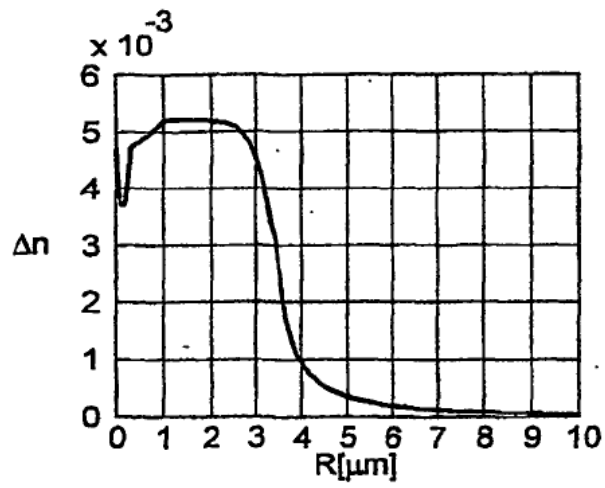


Fig. 17b