

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 494 640**

51 Int. Cl.:

G02B 6/028

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2011** **E 11305087 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.06.2014** **EP 2482106**

54 Título: **Fibra multimodo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
15.09.2014

73 Titular/es:

DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)
De Boelelaan 7
1083 HJ Amsterdam, NL

72 Inventor/es:

MOLIN, DENIS;
BIGOT-ASTRUC, MARIANNE;
SILLARD, PIERRE y
DE JONGH, KOEN

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 494 640 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 multimodo

[0001] La presente invención se refiere al campo de las transmisiones por fibra óptica, y más específicamente a fibras multimodo (MMF). Las fibras ópticas multimodo se utilizan, en particular, para sistemas de transmisión de corta distancia que requieren un ancho de banda grande.

[0002] Una fibra óptica consta convencionalmente de un núcleo óptico, cuya función es transmitir y posiblemente amplificar una señal óptica, y de un revestimiento óptico cuya función es confinar la señal óptica dentro del núcleo. Para este propósito, los índices de refracción del núcleo n_c y del revestimiento exterior n_g son tales que $n_c > n_g$.

[0003] Para aplicaciones de corta distancia y de redes locales, se utilizan con frecuencia fibras multimodo. El núcleo de una fibra multimodo tiene un diámetro de 50 μm o mayor, en comparación con los aproximadamente 6 μm para el núcleo de una fibra de modo único. Por lo tanto, para una longitud de onda dada, varios modos ópticos se propagan simultáneamente a lo largo de la fibra, conduciendo la misma información. El ancho de banda está directamente relacionado con la velocidad de grupo de los modos ópticos que se propagan en el núcleo de la fibra multimodo. Para garantizar un gran ancho de banda, las velocidades de grupo de todos los modos deben ser idénticas, es decir, la dispersión intermodal debe ser cero o, al menos, estar reducida al mínimo para una longitud de onda dada. Las fibras multimodo de 50 μm de diámetro, han sido objeto de normalización internacional bajo la norma ITU-T G.651 que, en particular, define criterios para anchos de banda, apertura numérica y el diámetro de núcleo, para necesidades de compatibilidad entre fibras.

[0004] En las fibras ópticas, el perfil de índice se cualifica generalmente en relación con el trazado de la gráfica que representa la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra. Convencionalmente la distancia r al centro de la fibra se representa a lo largo del eje de abscisas, y la diferencia entre el índice de refracción del núcleo óptico y el índice de refracción del revestimiento de la fibra, se representa a lo largo del eje de ordenadas. Por consiguiente, el perfil de índice se refiere como "de salto", "trapezoidal" o "triangular" o perfil "alfa" para las gráficas que tiene las respectivas formas de un escalón, un trapecio, un triángulo o una pendiente. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o establecido de la fibra, las tensiones de fabricación de la fibra pueden dar lugar a un perfil diferente.

[0005] En fibras de índice de salto, los diferentes modos se propagan a velocidades diferentes a lo largo de la fibra, lo que provoca expansión del impulso luminoso que puede llegar a ser comparable con la separación entre impulsos, y conducir a una tasa de error inaceptable. Para reducir la dispersión intermodal en una fibra multimodo, se ha propuesto fabricar fibras de índice gradual con un perfil de núcleo en "alfa". Tal fibra se ha utilizado durante muchos años y sus características se han descrito, en particular, en las publicaciones: "Multimode theory of graded-core fibres" por D. Gloge et al., Bell System Technical Journal 1973 páginas 1563 a 1578, y "Comprehensive theory of dispersion in graded-index optical fibers" por G. Yabre, Journal of Lightwave Technology, febrero 2000, volumen 18, n° 2, páginas 166 a 177.

[0006] Un perfil de índice gradual típico puede ser definido como la relación entre el valor n del índice en un punto y la distancia r desde este punto hasta el centro de la fibra:

$$n(r) = n_0 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde $\alpha \geq 1$ (con $\alpha \rightarrow \infty$ correspondiendo a índice de salto);
 n_0 , el valor de índice máximo del núcleo multimodo;
 a , el radio del núcleo multimodo; y

$$\Delta = \frac{(n_0^2 - n_{cl}^2)}{2n_0^2}; \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde n_{cl} es el valor de índice mínimo del núcleo multimodo, que corresponde generalmente al valor de índice del revestimiento (que con mayor frecuencia es de sílice).

[0007] Por tanto, una fibra multimodo de índice gradual tiene un perfil de núcleo con simetría revolución de tal manera que, a lo largo de cualquier dirección radial, el valor del índice disminuye continuamente desde el centro de la fibra hacia su periferia.

[0008] Cuando una señal luminosa multimodo se propaga por dicho núcleo de índice gradual, los diferentes modos ven un medio de propagación diferente, lo cual tiene un efecto diferente en su velocidad de propagación. Mediante el

ajuste del valor del parámetro α , es teóricamente posible obtener una velocidad de grupo que es prácticamente igual para todos los modos y por tanto, dispersión intermodal reducida.

[0009] Para su utilización en aplicaciones de alta tasa binaria, una fibra multimodo debe exhibir el mayor ancho de banda posible. Para aplicaciones en redes Ethernet con tasa binaria alta en distancias de largo recorrido, en particular para tasas binarias de 10 GbE (10 Gb/s) o superiores, sobre más de 300 m (550 m, respectivamente), el ancho de banda efectivo garantizado debe ser 2000 MHz-km o mayor (respectivamente 4.700 MHz-km). La norma TIA-492AAAC-A estandariza los niveles de comportamiento requeridos para fibras multimodo de tasa elevada de diámetro de 50 μm

[0010] Para las fibras multimodo, el ancho de banda depende de la fuente utilizada. El ancho de banda se determina para una longitud de onda dada. Por un lado, la determinación del ancho de banda de lanzamiento saturado OFL-BW requiere la utilización de una fuente de luz uniforme, tal como por ejemplo un LED (Light Emitting Diode [diodo emisor de luz]). Por otro lado, para el ancho de banda modal efectivo EMB es más apropiado para la determinación del ancho de banda de fibra en uso con fuentes de VCSEL (diodo laser de emisión superficial con cavidad vertical).

[0011] En una manera conocida per se, el ancho de banda modal efectivo EMB puede ser estimado mediante la medición del retardo debido a la dispersión modal, conocido bajo el acrónimo DMD, por representación gráfica de "retardo de dispersión modal". El procedimiento de medición de DMD ha sido objeto de normalización (IEC 60793-1-49 y FOTP-220). Para llevar a cabo esta medición, se toma cuidado en general en utilizar una fuente o una longitud de fibra de tal manera que la dispersión cromática sea realmente insignificante: el propósito es caracterizar la dispersión modal de la fibra. El ancho de banda modal efectivo se corresponde con el ancho de banda más pequeño de todos los EMBs de pares fibra-fuente, cuando la dispersión cromática es ignorada para todas las fuentes estandarizadas en aplicaciones de 10 GbE.

[0012] Se obtiene una representación gráfica de DMD mediante la inyección de un impulso luminoso que tiene una longitud de onda dada λ_0 en el centro de la fibra y midiendo el retardo del impulso después de una longitud de fibra L dada; estando compensada radialmente la introducción del impulso de luz de longitud de onda λ_0 dada, para cubrir todo el núcleo de la fibra multimodo. Cuando el parámetro α se ajusta a un valor óptimo $\alpha_{\text{óptimo}}$, no hay prácticamente ningún cambio en el retardo del impulso luminoso para una longitud de onda dada λ_0 , independientemente del radio r a lo largo del cual se propaga el impulso; la dispersión intermodal es baja y el ancho de banda modal efectivo es apreciable. Se puede hacer referencia al documento EP-A-2 144 096 que describe la representación gráfica de DMD y el EMB calculado.

[0013] Las fibras multimodo de índice gradual están típicamente dedicadas a comunicaciones de datos de alta velocidad. Ellas se benefician de manera efectiva de las fuentes de alta velocidad - bajo coste, basadas en tecnología VCSEL. Dado que estas fuentes son divergentes, las fibras multimodo son realmente diseñadas para proporcionar gran apertura numérica - cuanto más grande mejor. Típicamente fibras multimodo de núcleo de 50 μm dedicadas a transmisiones de alta velocidad presentan aperturas numéricas alrededor de 0,200.

[0014] Algunas aplicaciones emergentes como súper ordenadores o dispositivos electrónicos de consumo requieren más flexibilidad que puede darse por apertura numérica aún mayor.

[0015] Se ha observado que una gran apertura numérica generalmente conduce a la degradación del ancho de banda modal.

[0016] Por tanto, existe una necesidad de una fibra multimodo con amplio ancho de banda modal y gran apertura numérica.

[0017] Además, dependiendo de las aplicaciones, se puede desear utilizar fibras con un mayor tamaño de núcleo que el estándar de 50 μm , por ejemplo de 80 μm , por lo tanto hay una necesidad de fibras multimodo que tengan una abertura numérica grande, con ancho de banda modal alto, sea cual sea el tamaño del núcleo, en particular cuando se aumenta el tamaño del núcleo en comparación con las MMF de 50 μm estándar.

[0018] La apertura numérica NA puede calcularse como

$$NA = n_0 \sqrt{2\Delta} \quad (\text{Ecuación 3})$$

[0019] Con Δ y n_0 calculados a partir de la ecuación (2).

[0020] Fibras multimodo de núcleo de 50 μm típicas tienen $\Delta = 0,01$; ($a = 25$) μm y $\alpha \approx 2$, proporcionando una apertura numérica de aproximadamente 0,2.

[0021] Ya ha sido propuesto ajustar el valor α para fibras multimodo que siguen la reconocida ecuación de ley de potencia (1) con el fin de maximizar el ancho de banda modal efectivo. Sin embargo esta solución anterior proporciona anchos de banda modal efectivos mínimos limitados.

[0022] Las figuras 1A a 1C muestran gráficas de DMD de una fibra multimodo de 80 μm con un valor delta de 2,04%, que proporciona una gran apertura numérica de aproximadamente 0,3 para tres valores diferentes de alfa. El núcleo de índice gradual sigue la ecuación (1). Las figuras 1A a 1C muestra las gráficas de DMD esperadas para fibras de longitud de 750 m, respectivamente, para $\alpha = 2,04$, $\alpha = 2,06$, $\alpha = 2,08$. Se puede observar a partir de estas gráficas que la dispersión modal no puede ser compensada simplemente ajustando el valor α para fibras que tienen una apertura numérica alta. De hecho, el retardo no es constante a lo largo todo el radio del núcleo sea cual sea el valor de α . A partir de estas graficas de DMD, haciéndolo de acuerdo con FOTP-220, es posible calcular anchos de banda modales efectivos usando funciones de ponderación.

[0023] La figura 2 muestra algunos valores de DMD, el ancho de banda modal efectivo mínimo calculado (EMBc) y el ancho de banda de lanzamiento saturado (OFL-BW) para fibras multimodo que tienen un núcleo de índice gradual que cumple la ecuación (1) con un valor delta de 2,04%. Se puede observar que los valores de DMD son mayores de 0,15 ps/m sea cual sea el valor de alfa. Esto conduce a valores limitados de ancho de banda modal efectivo (EMBc) y ancho de banda de lanzamiento saturado (OFL-BW). Además, para un valor dado de alfa que proporciona el EMBc más alto, el OFL-BW es bajo y viceversa. Una fibra multimodo que tiene una apertura numérica alta con un núcleo de índice gradual que cumple la ecuación (1), tiene anchos de banda limitados tanto en ancho de banda modal efectivo (EMBc) y en ancho de banda de lanzamiento saturado (OFL-BW). Las aplicaciones para tales fibras multimodo están por tanto limitadas.

[0024] El documento JP 2007-272239 describe un método para fabricar fibra óptica multimodo con menos procesos de producción y que proporciona de una banda de paso ancha para bandas de longitud de onda larga y corta. Dicha fibra óptica multimodo, se conforma de manera tal que el parámetro alfa del perfil de índice de refracción adopta un valor determinado en una primera región y otro valor en otra región.

[0025] El documento JP 2001-235648 describe una preforma para una fibra óptica multimodo que puede ser fabricada de manera estable. La relación entre un coeficiente de gradiente de índice de refracción en la parte central de la preforma y cumpliendo una determinada ecuación el coeficiente de gradiente de índice de refracción en la parte intermedia del centro de núcleo y en la superficie periférica del núcleo.

[0026] El documento US 2010/0154478 enseña perfiles de índice gradual en los que el núcleo cumple una ecuación de ley de potencia modificada. La parte interior cumple la ecuación estándar (1) mientras que el perfil de índice de refracción se aparta de la ecuación de ley de potencia con índice de refracción menor. Estos perfiles conducen a degradaciones de DMD (figuras 4 y 6) y ancho de banda modal efectivo limitado.

[0027] El documento US 7.315.677 enseña "perfiles en doble alfa", basados en el co-dopado; cada perfil de dopante presenta su propio alfa. No se revelan comportamientos de DMD.

[0028] El documento WO 00/50936 enseña perfiles de índice gradual en los que el núcleo sigue una ecuación de ley de potencia modificada que proporciona gráficas de DMD a 1300 nm con dos pendientes diferentes en dos regiones diferentes del núcleo.

[0029] R.E. Freund, "High-Speed Transmission in Multimode Fibers," JLT, volumen 28, número 4, febrero 2010, da a conocer en la figura 4 y la ecuación 6, un perfil en doble alfa. Sin embargo, este perfil se ha establecido para simular defectos de fabricación de la fibra. La continuidad de la primera derivada de este perfil no está garantizada y conduce a malos comportamientos de DMD.

[0030] Además, ninguno de los documentos antes mencionados enseña gran apertura numérica.

[0031] Para este propósito, la invención propone una fibra multimodo que tiene una apertura numérica alta y en la que, el núcleo sigue una ecuación de ley de potencia modificada con un exponente alfa que depende del radio de la fibra. El exponente α toma al menos dos valores diferentes a lo largo del radio del núcleo; un primer valor de α_1 para controlar el índice gradual en una zona interior - o central - del núcleo y un segundo valor de α_2 para controlar el índice gradual en una zona exterior - o periférica - del núcleo. Los valores de los exponentes alfa del núcleo de índice gradual de la fibra multimodo de la invención, se eligen de manera que la fibra multimodo exhiba un perfil de DMD con un retardo sustancialmente constante en todo el núcleo. Por lo tanto, el ancho de banda modal efectivo calculado EMBc es elevado.

[0032] Por tanto, la invención se refiere a una fibra óptica multimodo de acuerdo con la reivindicación 1.

[0033] De acuerdo con formas de realización, la fibra óptica de la invención tiene un ancho de banda efectivo modal (EMB) a una longitud de onda de 850 nm, que es mayor de 1.000 MHz.km, más preferiblemente mayor de 2.000 MHz.km, y más preferiblemente mayor de 3.000 MHz. km. De acuerdo con formas de realización, la fibra óptica de la invención tiene un ancho de banda de lanzamiento saturado (OFL-BW) para una longitud de onda de 850 nm que es mayor de 1.000 MHz.km, más preferiblemente mayor de 1.500MHz.km, y más preferiblemente más de 3000MHz.km

[0034] De acuerdo con una realización, el perfil del núcleo de índice gradual cumple la ecuación de potencia:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \Delta_1 \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha_1}} & 0 \leq r \leq r_t \\ n_2 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \Delta_2 \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha_2}} & r_t \leq r \leq a \\ n_{cl}(r) & a < r \end{cases}$$

con a, el radio externo del núcleo de índice gradual, r_t , el valor de radio en la zona de transición entre zona interior y zona exterior del núcleo, y con

$$\Delta_1 = \frac{\alpha_2 \Delta \left(\frac{r_l}{a} \right)^{\alpha_2 - \alpha_1}}{\alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \left(\frac{r_l}{a} \right)^{\alpha_2}}$$

$$\Delta_2 = \frac{\alpha_1 \Delta}{(1 - 2\Delta) \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{r_l}{a} \right)^{\alpha_2} + \alpha_1}$$

$$n_1 = \frac{n_{cl}}{\sqrt{1 - 2\Delta}}$$

$$n_2 = n_{cl} \cdot \sqrt{\frac{(1 - 2\Delta) \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \left(\frac{r_l}{a} \right)^{\alpha_2} - \alpha_1}{(1 - 2\Delta) \cdot \left((\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \left(\frac{r_l}{a} \right)^{\alpha_2} - \alpha_1 \right)}}$$

- 5 **[0035]** De acuerdo con formas de realización, el primer valor de exponente (α_1) del perfil de índice gradual en la zona interior del núcleo, se elige entre 2,05 y 2,10; siendo el segundo valor del exponente (α_2) del perfil de índice gradual en la zona exterior del núcleo, menor en, al menos, 0,04 del primer valor de exponente (α_1) del perfil de índice gradual en la zona interna del núcleo ($\alpha_1 > \alpha_2 + 0,04$); y siendo la relación entre el valor del radio en la transición entre la zona interna y la zona externa del núcleo y el radio externo del núcleo de índice gradual (r_l/a) de entre 0,5 y 0,7.
- 10 **[0036]** De acuerdo con una forma de realización, el núcleo central tiene un diámetro ($2a$) de 50 μm . La fibra puede tener un valor de DMD sobre la máscara exterior de 0 a 23 μm para una longitud de onda de 850 nm que es menor de 0,40 ps/m, más preferiblemente menor de 0,20 ps/m y más preferiblemente menor de 0,14 ps/m.
- 15 **[0037]** De acuerdo con una forma de realización, el núcleo central tiene un diámetro ($2a$) de 80 μm . La fibra puede tener un valor de DMD sobre la máscara exterior de 0 a 37 μm para una longitud de onda de 850 nm que es menor de 0,40 ps/m, más preferiblemente menor de 0,20 ps/m y más preferiblemente menor de 0,14 ps/m.
- 20 **[0038]** De acuerdo con una forma de realización, el núcleo central tiene un diámetro ($2a$) de 62,5 μm . La fibra puede tener un valor de DMD sobre la máscara exterior de 0 a 29 μm para una longitud de onda de 850 nm que es menor de 0,40 ps/m, más preferiblemente menor de 0,20 ps/m y más preferiblemente menor de 0,14 ps/m.
- 25 **[0039]** De acuerdo con una forma de realización, la fibra comprende además un revestimiento interior de índice deprimido entre el núcleo central y el revestimiento exterior.
- [0040]** De acuerdo con otra forma de realización, la fibra comprende además una porción de salto adyacente al núcleo central y un revestimiento interior de índice deprimido adyacente a la porción de salto.
- 30 **[0041]** La invención también se refiere a un sistema óptico que comprende, al menos, una porción de fibra óptica multimodo de acuerdo con la invención. Tal sistema óptico puede ser una red de área local.
- 35 **[0042]** Otras características y ventajas de la invención resultarán de la lectura de la siguiente descripción de formas de realización de la invención dadas como ejemplos y con referencia a los dibujos adjuntos, que muestran:
- Las figuras 1A a 1C, ya descritas, las gráficas de DMD para fibras multimodo de núcleo de índice gradual de 80 μm que tienen valor delta de 2,04%, para tres valores respectivos de exponente alfa de 2,04, 2,06 y 2,08;
 - La figura 2, ya descrita, una gráfica presentando el EMB, el OFL y algunos valores de DMD con respecto a alfa para fibras multimodo que tienen un núcleo de índice gradual cumpliendo la ecuación (1) con un valor delta de 2,04%;
 - Las figuras 3A y 3B, un ejemplo de perfil de índice para una fibra multimodo de 80 μm de acuerdo con una realización de la invención en comparación con una fibra multimodo estándar, siendo la figura 3B una porción ampliada de la figura 3A;
 - Las figuras 4A y 4B, gráficas de DMD, respectivamente, para una fibra multimodo de 80 μm que tiene un núcleo de índice gradual cumpliendo la ecuación (1) y para una fibra multimodo de 80 μm de acuerdo con una realización de la invención;
 - Las figuras 5A y 5B, un ejemplo de perfil de índice para una fibra multimodo de 50 μm de acuerdo con una realización de la invención en comparación con una fibra multimodo estándar, siendo la figura 5B una porción de ampliada de la figura 3A;
 - Las figuras 6A y 6B, gráficas de DMD, respectivamente, para una fibra multimodo de 50 μm que tiene un núcleo de índice gradual cumpliendo la ecuación (1) y para una fibra multimodo de 50 μm de acuerdo con una realización de la invención;
 - Las figuras 7A y 7B, gráficos presentando valores de DMD con respecto al radio, respectivamente, para fibras multimodo de 50 μm con núcleo de índice gradual cumpliendo la ecuación (1) y para las fibras multimodo de 50 μm de acuerdo con la invención;

- Las figuras 8A y 8B, gráficos presentando valores de DMD con respecto al radio, respectivamente, para fibras multimodo de 62,5 μm que tienen núcleo de índice gradual cumpliendo la ecuación (1) y para las fibras multimodo de 62,5 μm de acuerdo con la invención;
- Las figuras 9A y 9B, gráficos presentando valores de DMD con respecto al radio, respectivamente, para fibras multimodo de 80 μm con núcleo de índice gradual siguiendo la ecuación (1) y para fibras multimodo 80 μm de acuerdo con la invención;
- La figura 10, un gráfico representando valores de OFL frente a valores de OE para fibras multimodo según la invención;
- La figura 11, una tabla de las funciones de ponderación utilizadas para calcular EMBc para fibras multimodo de 62,5 y 80 μm.

[0043] La fibra de la invención es una fibra de transmisión multimodo. La fibra comprende núcleo central que tiene un perfil de índice gradual ($n(r)$) y un revestimiento externo. El revestimiento externo puede ser de sílice pura o sílice dopada para modificar el índice de refracción, en función de las aplicaciones previstas. El revestimiento exterior puede ser adyacente al núcleo de índice gradual o bien puede proporcionarse un revestimiento intermedio entre el núcleo central y el revestimiento exterior. El índice de refracción del revestimiento intermedio, en su caso, puede ser constante o complejo, incluyendo, por ejemplo, anillos o zanjas deprimidas. Se puede hacer referencia, por ejemplo, a los documentos EP-A-0 131 729 o WO-A-2008/085851 que describen perfiles de MMF que incluyen trincheras deprimidas.

[0044] El núcleo de índice gradual de la fibra multimodo de la invención tiene un valor delta (Δ) del 1,9% o mayor, estando definido delta con la ecuación 2 anterior. Tal valor delta proporciona una apertura numérica de 0,28 o mayor, calculada a partir de la ecuación 3 definida anteriormente para un n_0 valor de 1,45. Los valores mínimos y máximos del índice de refracción del núcleo, son elegidos por tanto de manera que se garantice una apertura numérica grande. No obstante, la fibra de la invención exhibe elevados EMB y OFL debido a un perfil específico de núcleo de índice gradual.

[0045] El núcleo de índice gradual de la fibra de la invención cumple una ecuación de potencia $n(r)$ con al menos dos valores diferentes de exponente a lo largo del radio del núcleo, un primer valor α_1 en una zona interior del núcleo y un segundo valor α_2 en una zona exterior del núcleo. El segundo valor de exponente α_2 es menor que el primer valor de exponente α_1 . Esto proporciona que el índice de refracción de la fibra de la invención aumente en todo el núcleo en comparación con una fibra multimodo estándar.

[0046] De acuerdo con una forma de realización, el perfil de núcleo de índice gradual puede cumplir la ecuación de potencia:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \Delta_1 \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha_1}} & 0 \leq r \leq r_t \\ n_2 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \Delta_2 \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha_2}} & r_t \leq r \leq a \\ n_{cl}(r) & a < r \end{cases} \quad (\text{Ecuación 4})$$

con a , el radio externo del núcleo de índice gradual, r_t , el valor del radio en la transición entre la zona interior y la zona exterior del núcleo.

[0047] Los valores de Δ_1 , Δ_2 , n_1 y n_2 son elegidos con el fin de asegurar que el perfil de núcleo de índice gradual ($n(r)$) y su primera derivada ($dn(r)/dr$) son continuas en todo el núcleo de índice gradual. Esto proporciona menos perturbaciones modales y asegura mayor ancho de banda.

[0048] En particular, de acuerdo a una forma de realización,

$$\Delta_1 = \frac{\alpha_2 \Delta \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2 - \alpha_1}}{\alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\Delta_2 = \frac{\alpha_1 \Delta}{(1 - 2\Delta) \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2} + \alpha_1} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$n_1 = \frac{n_{cl}}{\sqrt{1-2\Delta}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$n_2 = n_{cl} \cdot \sqrt{\frac{(1-2\Delta) \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2} - \alpha_1}{(1-2\Delta) \cdot \left((\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2} - \alpha_1\right)}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

[0049] En un perfil multimodo estándar, que cumpla la ecuación (1), los modos de orden superior presentan típicamente una velocidad de grupo más pequeña que los restantes, dando lugar a una gráfica de DMD curvada hacia la derecha para lanzamientos de compensación más grandes. Según la invención, el índice de refracción en la parte exterior del núcleo está aumentado en comparación con el perfil estándar. Este aumento del índice de refracción en la parte exterior del núcleo de índice gradual compensa los modos de orden superior del núcleo central mediante la relajación de su guía. Por lo tanto estos modos superiores verán un índice de refracción menor que conduce a una velocidad de grupo superior.

[0050] La reducción del segundo valor de alfa α_2 con respecto al primer valor de alfa α_1 , mientras se mantiene la continuidad del perfil $n(r)$ y su primera derivada $dn(r)/dr$, lleva a un aumento del índice de refracción en la parte exterior. La dispersión modal puede ser minimizada de manera eficaz, mediante el ajuste de los valores alfa y del radio de transición r_t entre ambas regiones alfa. Vale la pena señalar que perfiles de alfa doble mantienen los beneficios de la forma alfa, consistentes en el mantenimiento de estructura de grupo también es útil para alcanzar niveles de dispersión modal bajos.

[0051] Las figuras 3A y 3B muestran un perfil de índice para una fibra multimodo de 80 μm de acuerdo con una realización de la invención en comparación con una fibra multimodo estándar, siendo la figura 3B una zona ampliada de la zona exterior del núcleo de la fibra de la figura 3A.

[0052] El ejemplo de las figuras 3A y 3B fue construido con $\alpha_1 = 2,07$, $\alpha_2 = 2,02$, $r_t/a = 0,6$ y $\Delta = 2,0\%$. El eje de la izquierda da la diferencia del índice de refracción del núcleo de índice gradual de la fibra de la invención con respecto a la sílice pura; y el eje de la derecha da la diferencia de índice de refracción con respecto a un perfil de índice de refracción estándar que coincida con la parte interior del núcleo de índice gradual de la fibra de la invención. La figura 3B muestra claramente que el índice de refracción de la fibra de la invención disminuye a lo largo del núcleo en comparación con una fibra multimodo estándar.

[0053] Las figuras 4A y 4B muestran gráficas de DMD a 850 nm, respectivamente, para un perfil alfa sencilla alfa estándar con $\alpha = 2,06$, $\Delta = 2,0\%$ y para un perfil de doble alfa de acuerdo con la invención con $\alpha_1 = 2,06$, $\alpha_2 = 2,01$, $r_t/a = 0,675$, $\Delta = 2,0\%$, para núcleo 80 μm de diámetro y revestimientos constantes para ambos perfiles.

[0054] En las figuras 4A y 4B puede observarse a partir de la gráfica de DMD de la fibra de la invención (figura 4B) que el retardo es esencialmente constante en todo el núcleo, en comparación con la gráfica de DMD para una fibra estándar (figura 4A). En particular, el valor de DMD sobre la máscara exterior de 0 a 37 μm para una longitud de onda de 850 nm es inferior a 0,40 ps/m. Un tal valor pequeño de DMD garantiza un ancho de banda modal efectivo elevado. En particular, la fibra multimodo de la invención presenta un ancho de banda modal efectivo (EMB) a una longitud de onda de 850 nm, que es mayor de 1000 MHz.km y más preferiblemente mayor de 3000 MHz.km.

[0055] Las figuras 5A y 5B muestran un perfil de índice para una fibra multimodo de 50 μm de acuerdo con una realización de la invención en comparación con una fibra multimodo estándar, siendo la figura 5B es una ampliación de la zona exterior del núcleo de la fibra de la figura 5A.

[0056] El ejemplo de las figuras 5A y 5B fue construido con $\alpha_1 = 2,07$, $\alpha_2 = 2,02$, $r_t/a = 0,6$ y $\Delta = 2,0\%$. El eje de la izquierda ofrece la diferencia del índice de refracción del núcleo de índice gradual de la fibra de la invención con respecto a la sílice pura; y el eje de la derecha da la diferencia del índice de refracción con respecto a un perfil de índice de refracción estándar que coincida con la parte interior del núcleo de índice gradual de la fibra de la invención. La figura 5B muestra claramente que el índice de refracción de la fibra de la invención disminuye a lo largo del núcleo en comparación con una fibra multimodo estándar.

[0057] Las figuras 6A y 6B muestran gráficas de DMD para 850 nm, respectivamente, para un perfil estándar de alfa sencilla $\alpha = 2,06$, $\Delta = 2,0\%$, y para un perfil de doble alfa de acuerdo con la invención con $\alpha_1 = 2,08$, $\alpha_2 = 2,04$, $r_t/a = 0,5$, $\Delta = 2,0\%$, para núcleo de 50 μm de diámetro y revestimientos constantes para ambos perfiles.

[0058] En las figuras 6A y 6B puede observarse a partir de la gráfica de DMD de la fibra de la invención (figura 6B) que el retardo es esencialmente constante en todo el núcleo, en comparación con la gráfica de DMD para una fibra estándar (figura 6A). En particular, el valor de DMD sobre la máscara exterior de 0 a 37 μm a una longitud de onda de 850 nm es inferior a 0,40 ps/m. Un valor pequeño de DMD tal, garantiza un ancho de banda modal efectivo elevado. En particular, la fibra multimodo de la invención presenta un ancho de banda modal efectivo (EMB) a una longitud de onda de 850 nm, que es mayor de 1000 MHz.km y más preferiblemente mayor de 3000 MHz.km.

[0059] La siguiente tabla I da comportamientos para varios ejemplos de fibras de acuerdo con la técnica anterior con perfil alfa sencillo estándar cumpliendo la ecuación 1.

Tabla I

Delta [%]	a [μm]	Alfa	EMBc [MHz.km]	OFL [MHz.km]	DMD _{exterior} [ps/m]
2,2	25	2,06	2818	1390	0,23
2,2	25	2,07	2028.	1021	0,35
2,2	25	2,08	1332	747	0,49
2	31,25	2,06	2153	1739	0,20
2	31,25	2,07	1303	1120	0,31
2	31,25	2,08	996	841	0,46
2,2	40	2,07	1405	817	0,56
2,2	40	2,08	1024	648	0,73
2,2	40	2,09	806	536	0,93

[0060] Los valores de DMD_{exterior} se determinan de acuerdo a las recomendaciones de FOTP-220 para las fibras multimodo de 50 μm con las máscaras exteriores dependiendo del tamaño del núcleo. Para fibras de 50 μm, la máscara exterior es 0 a 23 μm. La máscara exterior para FMM de 62,5 y 80 μm, no están definidas en la norma, por tanto, definiéndolas aquí de la siguiente manera: para fibras de 62,5 μm, la máscara externa es de 0 a 29 μm; y para fibras de 80 μm, la máscara externa es de 0 a 37 mm.

[0061] Para fibras multimodo de 62,5 y 80 μm, el EMBc se calcula a partir de mediciones de DMD de manera similar a las recomendaciones de FOTP-220 para fibras multimodo 50 μm. En particular, la EMBc se calculó con un salto de 1 μm desde 0 hasta 40 μm utilizando las funciones de ponderación presentadas en la figura 11 del anexo.

[0062] La siguiente tabla II ofrece comportamientos para varios ejemplos de fibras de acuerdo con la invención el perfil de índice gradual, cumpliendo la ecuación 4.

Tabla II

Delta [%]	a [μm]	r _t /a	r _t [μm]	Alfa 1	Alfa 2	Alfa 1- Alfa 2	EMBc [MHz.km]	OFL [MHz.km]	DMD exterior [ps/m]
2,2	25	0,5	12,5	2,060	2,055	0,004	3031	1649	0,18
2,2	25	0,5	12,5	2,070	2,035	0,034	3361	3089	0,17
2,2	25	0,5	12,5	2,070	2,040	0,029	3877	2656	0,15
2,2	25	0,5	12,5	2,070	2,045	0,024	4236	2106	0,13
2,2	25	0,5	12,5	2,070	2,050	0,020	4048	1786	0,15
2,2	25	0,5	12,5	2,070	2,055	0,014	3541	1478	0,19
2,2	25	0,5	12,5	2,080	2,025	0,055	3354	2654	0,16
2,2	25	0,5	12,5	2,080	2,030	0,050	4344	2879	0,12
2,2	25	0,5	12,5	2,080	2,035	0,044	5547	2679	0,09
2,2	25	0,5	12,5	2,080	2,040	0,040	6201	2220	0,08
2,2	25	0,5	12,5	2,080	2,045	0,035	5646	1855	0,12
2,2	25	0,5	12,5	2,080	2,050	0,030	4282	1550	0,16
2,2	25	0,5	12,5	2,080	2,055	0,024	3185	1331	0,22
2,2	25	0,6	15	2,060	2,035	0,024	3033	2817	0,19
2,2	25	0,6	15	2,060	2,040	0,020	3144	2459	0,18
2,2	25	0,6	15	2,060	2,045	0,015	3246	2029	0,18
2,2	25	0,6	15	2,060	2,050	0,010	3291	1806	0,17
2,2	25	0,6	15	2,060	2,055	0,004	3069	1571	0,19
2,2	25	0,6	15	2,070	2,010	0,060	3536	2350	0,22

ES 2 494 640 T3

(Continúa)

Delta [%]	a [µm]	r _t /a	r _t [µm]	Alfa 1	Alfa 2	Alfa 1- Alfa 2	EMBc [MHz.km]	OFL [MHz.km]	DMD exterior [ps/m]
2,2	25	0,6	15	2,070	2,015	0,054	4245	2592	0,17
2,2	25	0,6	15	2,070	2,020	0,049	5166	2779	0,13
2,2	25	0,6	15	2,070	2,025	0,044	5909	2703	0,10
2,2	25	0,6	15	2,070	2,030	0,040	6291	2500	0,09
2,2	25	0,6	15	2,070	2,035	0,034	5950	2096	0,09
2,2	25	0,6	15	2,070	2,040	0,029	5150	1863	0,11
2,2	25	0,6	15	2,070	2,045	0,024	4357	1653	0,15
2,2	25	0,6	15	2,070	2,050	0,020	3630	1447	0,19
2,2	25	0,6	15	2,070	2,055	0,014	3053	1311	0,23
2,2	25	0,6	15	2,080	1,990	0,090	3004	1437	0,29
2,2	25	0,6	15	2,080	1,995	0,085	3578	1587	0,29
2,2	25	0,6	15	2,080	2,000	0,080	4417	1754	0,23
2,2	25	0,6	15	2,080	2,005	0,075	5555	1967	0,16
2,2	25	0,6	15	2,080	2,010	0,070	7062	2135	0,09
2,2	25	0,6	15	2,080	2,015	0,064	8811	2174	0,05
2,2	25	0,6	15	2,080	2,020	0,060	8967	2038	0,04
2,2	25	0,6	15	2,080	2,025	0,055	6891	1888	0,07
2,2	25	0,6	15	2,080	2,030	0,050	5154	1756	0,11
2,2	25	0,6	15	2,080	2,035	0,044	4094	1594	0,14
2,2	25	0,6	15	2,080	2,040	0,040	3332	1421	0,18
2,2	25	0,7	17,5	2,060	1,980	0,080	3005	2070	0,38
2,2	25	0,7	17,5	2,060	1,985	0,075	3192	2215	0,34
2,2	25	0,7	17,5	2,060	1,990	0,070	3305	2357	0,27
2,2	25	0,7	17,5	2,060	1,995	0,064	3341	2517	0,26
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,000	0,060	3371	2686	0,23
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,005	0,055	3400	2783	0,20
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,010	0,050	3427	2765	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,015	0,044	3449	2650	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,020	0,040	3456	2533	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,025	0,035	3464	2380	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,030	0,030	3467	2118	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,035	0,024	3464	1957	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,040	0,020	3460	1844	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,045	0,015	3333	1730	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,060	2,050	0,010	3153	1599	0,18
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,925	0,145	3098	931	0,53
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,930	0,140	3269	994	0,48

ES 2 494 640 T3

(Continúa)

Delta [%]	a [μm]	r _t /a	r _t [μm]	Alfa 1	Alfa 2	Alfa 1 - Alfa 2	EMBc [MHz.km]	OFL [MHz.km]	DMD exterior [ps/m]
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,935	0,135	3447	1076	0,51
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,940	0,130	3639	1171	0,48
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,945	0,125	3843	1257	0,45
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,950	0,120	4077	1338	0,42
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,955	0,115	4344	1416	0,39
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,960	0,110	4649	1492	0,35
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,965	0,105	5008	1573	0,29
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,970	0,099	5352	1657	0,25
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,975	0,094	5704	1749	0,27
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,980	0,089	6055	1841	0,23
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,985	0,084	6331	1913	0,19
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,990	0,079	6417	1942	0,15
2,2	25	0,7	17,5	2,070	1,995	0,074	6090	1922	0,09
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,000	0,069	5652	1879	0,09
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,005	0,064	5210	1830	0,09
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,010	0,060	4697	1779	0,10
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,015	0,054	4301	1720	0,12
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,020	0,049	3929	1649	0,13
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,025	0,044	3592	1560	0,15
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,030	0,040	3303	1465	0,17
2,2	25	0,7	17,5	2,070	2,035	0,034	3062	1386	0,19
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,925	0,155	3014	929	0,48
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,930	0,150	3109	973	0,45
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,935	0,145	3193	1022	0,42
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,940	0,140	3279	1075	0,38
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,945	0,135	3359	1133	0,32
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,950	0,130	3420	1189	0,36
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,955	0,125	3462	1242	0,33
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,960	0,120	3481	1288	0,30
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,965	0,115	3475	1327	0,27
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,970	0,110	3435	1353	0,19
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,975	0,105	3367	1370	0,16
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,980	0,100	3281	1376	0,16
2,2	25	0,7	17,5	2,080	1,985	0,095	3141	1369	0,15
2,2	25	0,8	20	2,060	1,900	0,160	3492	1809	0,33
2,2	25	0,8	20	2,060	1,905	0,155	3490	1827	0,32
2,2	25	0,8	20	2,060	1,910	0,150	3488	1843	0,30

ES 2 494 640 T3

(Continúa)

Delta [%]	a [µm]	r _t /a	r _t [µm]	Alfa 1	Alfa 2	Alfa 1 - Alfa 2	EMBc [MHz.km]	OFL [MHz.km]	DMD exterior [ps/m]
2,2	25	0,8	20	2,060	1,915	0,145	3488	1857	0,29
2,2	25	0,8	20	2,060	1,920	0,140	3488	1867	0,26
2,2	25	0,8	20	2,060	1,925	0,135	3485	1872	0,21
2,2	25	0,8	20	2,060	1,930	0,130	3483	1875	0,20
2,2	25	0,8	20	2,060	1,935	0,125	3478	1872	0,23
2,2	25	0,8	20	2,060	1,940	0,120	3478	1865	0,23
2,2	25	0,8	20	2,060	1,945	0,115	3476	1857	0,21
2,2	25	0,8	20	2,060	1,950	0,110	3472	1846	0,19
2,2	25	0,8	20	2,060	1,955	0,105	3470	1834	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,960	0,100	3467	1822	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,965	0,095	3464	1810	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,970	0,090	3460	1799	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,975	0,085	3458	1786	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,980	0,080	3459	1775	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,985	0,075	3456	1761	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,990	0,070	3439	1748	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	1,995	0,064	3397	1732	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	2,000	0,060	3355	1715	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	2,005	0,055	3303	1696	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	2,010	0,050	3259	1674	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	2,015	0,044	3210	1649	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	2,020	0,040	3165	1622	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	2,025	0,035	3121	1591	0,17
2,2	25	0,8	20	2,060	2,030	0,030	3074	1558	0,18
2,2	25	0,8	20	2,060	2,035	0,024	3030	1526	0,19
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5070	1649	0,18
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5066	3089	0,17
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5066	2656	0,15
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5155	2106	0,13
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5152	1786	0,15
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5154	1478	0,19
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5031	2654	0,16
2	31,25	0,5	15,625	2,07	2,035	0,035	3752	3660	0,17
2	31,25	0,5	15,625	2,07	2,04	0,03	3711	3414	0,14
2	31,25	0,5	15,625	2,08	2,03	0,05	4094	3347	0,12
2	31,25	0,5	15,625	2,08	2,035	0,045	3867	3370	0,09
2	31,25	0,6	18,75	2,07	2,015	0,055	3521	2937	0,19

ES 2 494 640 T3

(Continúa)

Delta [%]	a [µm]	r _t /a	rt [µm]	Alfa 1	Alfa 2	Alfa 1- Alfa 2	EMBc [MHz.km]	OFL [MHz.km]	DMD exterior [ps/m]
2	31,25	0,6	18,75	2,07	2,02	0,05	4079	3288	0,15
2	31,25	0,6	18,75	2,07	2,025	0,045	5373	3439	0,11
2	31,25	0,6	18,75	2,07	2,03	0,04	4020	3271	0,09
2	31,25	0,6	18,75	2,07	2,035	0,035	3686	2857	0,08
2	31,25	0,6	18,75	2,08	2,02	0,06	3739	2619	0,04
2	31,25	0,6	18,75	2,08	2,025	0,055	3785	2476	0,04
2	31,25	0,6	18,75	2,08	2,03	0,05	3577	2275	0,07
2	31,25	0,7	21,875	2,06	2,02	0,04	3501	3455	0,15
2	31,25	0,7	21,875	2,06	2,025	0,035	3502	3220	0,15
2	31,25	0,7	21,875	2,06	2,03	0,03	3505	2932	0,15
2	31,25	0,7	21,875	2,07	2,005	0,065	3650	2469	0,07
2	31,25	0,7	21,875	2,07	2,01	0,06	3796	2373	0,07
2.	31,25	0,7	21,875	2,07	2,015	0,055	3774	2266	0,08
2	31,25	0,7	21,875	2,07	2,02	0,05	3627	2162	0,10
2,2	40	0,5	20	2,07	2,03	0,04	3518	2855	0,20
2,2	40	0,5	20	2,08	2,04	0,04	4511	1816	0,22
2,2	40	0,5	20	2,08	2,03	0,05	4698	2664	0,13
2,2	40	0,5	20	2,09	2,04	0,04	3873	1583	0,24
2,2	40	0,5	20	2,09	2,03	0,06	5230	2271	0,14
2,2	40	0,5	20	2,09	2,02	0,06	3264	2621	0,12
2,2	40	0,55	22	2,07	2,03	0,04	5335	2635	0,14
2,2	40	0,55	22	2,07	2,02	0,04	3770	3000	0,20
2,2	40	0,55	22	2,08	2,04	0,04	3790	1516	0,26
2,2	40	0,55	22	2,08	2,03	0,05	6029	2121	0,15
2,2	40	0,55	22	2,08	2,02	0,06	5067	2725	0,10
2,2	40	0,55	22	2,09	2,03	0,06	4772	1696	0,21
2,2	40	0,55	22	2,09	2,02	0,06	5564	2186	0,10
2,2	40	0,55	22	2,09	2,01	0,08	3661	2295	0,11
2,2	40	0,6	224	2,07	2,03	0,04	5440	2100	0,16
2,2	40	0,6	24	2,07	2,02	0,04	5425	2844	0,12
2,2	40	0,6	24	2,07	2,01	0,06	4612	2899	0,17
2,2	40	0,6	24	2,08	2,03	0,05	3833	1608	0,23
2,2	40	0,6	24	2,08	2,02	0,06	6904	2080	0,13
2,2	40	0,6	24	2,08	2,01	0,07	5798	2478	0,05
2,2	40	0,6	24	2,08	2	0,08	3763	2287	0,12
2,2	40	0,6	24	2,09	2,02	0,06	3673	1575	0,22
2,2	40	0,6	24	2,09	2,01	0,08	4266	1877	0,13

(continúa)

Delta [%]	a [μm]	r_t/a	r_t [μm]	Alfa 1	Alfa 2	Alfa 1 - Alfa 2	EMBc [MHz.km]	OFL [MHz.km]	DMD exterior [ps/m]
2,2	40	0,6	24	2,09	2	0,08	4239	1988	0,09
2,2	40	0,65	26	2,07	2,03	0,04	3681	1636	0,23
2,2	40	0,65	26	2,07	2,02	0,04	5467	2085	0,15
2,2	40	0,65	26	2,07	2,01	0,06	5459	2659	0,09
2,2	40	0,65	26	2,07	2	0,06	5455	2864	0,12
2,2	40	0,65	26	2,07	1,99	0,07	4165	2401	0,19
2,2	40	0,65	26	2,08	2,01	0,07	4103	1796	0,16
2,2	40	0,65	26	2,08	2	0,08	5155	2087	0,08
2,2	40	0,65	26	2,08	1,99	0,09	4764	2151	0,08
2,2	40	0,65	26	2,08	1,98	0,1	3468	1912	0,15
2,2	40	0,7	28	2,07	2,01	0,06	3674	1796	0,18
2,2	40	0,7	28	2,07	2	0,06	4784	2114	0,12
2,2	40	0,7	28	2,07	1,99	0,07	5465	2418	0,09
2,2	40	0,7	28	2,07	1,98	0,08	5463	2476	0,10
2,2	40	0,7	28	2,07	1,97	0,09	4488	2229	0,15
2,2	40	0,7	28	2,08	1,98	0,1	3058	1730	0,13

[0063] Se puede observar de la comparación de las tablas I y II que las fibras de la invención muestran mucho mayor ancho de banda que las fibras de la técnica anterior cuando la apertura numérica es alta.

[0064] Además, de la tabla II puede extraerse que se obtuvieron mejores comportamientos para fibras que tienen un núcleo de índice gradual de doble que cumple la ecuación 4 con α_1 - el valor de exponente del perfil de índice gradual en la zona interior del núcleo - elegido entre 2,05 y 2,1; y con α_2 - el valor de exponente del perfil de índice gradual en la zona exterior del núcleo - inferior en, al menos, 0,04 al primer valor de exponente ($\alpha_1 > \alpha_2 + 0,04$); y con un radio de transición normalizado r_t/a de entre 0,5 y 0,7.

[0065] Las figuras 7 a 9, muestran gráficos presentando valores de DMD con respecto al radio de las fibras multimodo de las tablas I y II.

[0066] La figura 7A muestra gráficas de presentación de valores de DMD con respecto al radio de las fibras multimodo de 50 μm de la tabla I y la figura 7B muestra gráficas de presentación de valores de DMD con respecto al radio para las fibras multimodo de 50 μm de la tabla II. Del mismo modo, la figura 8A muestra gráficas de presentación valores de DMD con respecto al radio de las fibras multimodo de 62,5 μm de la tabla I y mostrando la figura 8B gráficas de presentación de valores de DMD con respecto al radio de las fibras multimodo de 62,5 μm de la tabla II; y la figura 9A muestra gráficas de presentación de valores de DMD con respecto al radio de las fibras multimodo de 80 μm de la tabla I y la figura 9B muestra gráficas de presentación de valores de DMD con respecto al radio de las fibras multimodo de 80 μm de la tabla II.

[0067] Se puede observar fácilmente que el valor de $\text{DMD}_{\text{exterior}}$ para fibras de acuerdo con la invención es inferior a 0,40 ps/m, incluso inferior a 0,20 ps/m, en la mayoría de los casos, e incluso inferior a 0,14 ps/m algunos casos. En algunos casos, el valor $\text{DMD}_{\text{exterior}}$ excede de 0,40 ps/m, pero el EMBc sigue siendo elevado.

[0068] De hecho, a partir de las gráficas de DMD frente al radio, resulta que la pendiente de DMD es mucho menor para las fibras de acuerdo con la invención (figuras 7B, 8B y 9B) en comparación con las fibras de la técnica anterior (figuras 7A, 8A y 9A). Por lo tanto, las diferencias de DMD lo largo del núcleo siguen siendo pequeñas para fibras de acuerdo con la invención lo que significa que la dispersión intermodal es baja y el ancho de banda modal efectivo es apreciable.

[0069] La figura 10 muestra un gráfico presentando valores OFL frente a valores del EMB para fibras multimodo de acuerdo a la invención. La figura 10 muestra las prestaciones de ancho de banda que pueden alcanzarse con perfiles de acuerdo con la invención. Este gráfico fue generado con fibras multimodo con gran apertura numérica - más de 0,28. Una línea recta muestra los valores límite que pueden ser alcanzados con fibras que tienen un núcleo que cumple un perfil de alfa sencilla estándar.

- [0070]** Se puede observar que las fibras multimodo según la invención tienen un ancho de banda modal efectivo EMB mayor que el de fibras que tienen un perfil de alfa sencilla estándar, así como mayor ancho de banda de lanzamiento saturado.
- 5 **[0071]** En particular, se puede observar a partir de la tabla II y de la figura 10 que el ancho de banda modal efectivo EMB para fibras de acuerdo con la invención es elevado - más de 1000 MHz.km en cualquier caso, e incluso mayor de 2000 MHz.km y aún mayor de 3000 MHz.km en la mayoría de los casos.
- [0072]** También se puede observar a partir de la tabla II y de la figura 10 que el ancho de banda de lanzamiento saturado OFL para fibras de acuerdo con la invención también es elevado - más de 1000 MHz.km, incluso superior a 1500 MHz.km en la mayoría de los casos e incluso mayor de 3000 MHz. km en algunos casos.
- 10 **[0073]** Por consiguiente, la fibra multimodo de la invención puede ser utilizada en un sistema óptico de Ethernet con un ancho de banda mejorado, en particular para su uso en una LAN (Red de Área Local).
- [0074]** Cabe señalar que la presente invención no se limita a las realizaciones descritas como ejemplos. En particular, una ecuación de potencia diferente de la ecuación 4, podría ser considerada para el perfil de índice gradual del núcleo, siempre que el valor alfa disminuya desde la parte interna hacia la parte externa del núcleo y siempre que el perfil $n(r)$ y su primera derivada $dn(r)/dr$ sean continuos en todo el núcleo de índice gradual.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Fibra óptica multimodo, que comprende:

- un núcleo central que tiene un perfil de índice gradual que se puede definir como la relación entre el valor n del índice en un punto respecto de la distancia r desde este punto hasta el centro de la fibra:

$$n(r) = n_0 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha}$$

donde

$\alpha \geq 1$

n_0 , el valor de índice máximo del núcleo;

a , el radio del núcleo; y

$$\Delta = \frac{(n_0^2 - n_{cl}^2)}{2n_0^2},$$

donde n_{cl} es el valor de índice mínimo del núcleo con

- un revestimiento externo;

en la que el perfil de índice gradual de núcleo $n(r)$ tiene, al menos, dos valores diferentes de exponente a lo largo del radio del núcleo, un primer valor α_1 en una zona interior del núcleo y un segundo valor α_2 en una zona exterior del núcleo, siendo el segundo valor de exponente α_2 menor que el primer valor de exponente α_1 , y

en la que el perfil de índice gradual de núcleo $n(r)$ y su primera derivada $dn(r)/dr$ son continuos en la totalidad del núcleo de índice gradual; en la que el núcleo central tiene un diámetro de, al menos, 50 micrómetros;

caracterizada porque el núcleo central tiene un valor delta (Δ) de 1,9% o mayor, y porque los parámetros de la fibra óptica multimodo se eligen de manera que se obtiene un perfil de retardo modal de dispersión (DMD) que presenta un retardo esencialmente constante en el núcleo.

2. Fibra de la reivindicación 1, en la que el perfil de núcleo de índice gradual cumple la ecuación de potencia:

$$n(r) = \begin{cases} n_1 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \Delta_1 \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha_1}} & 0 \leq r \leq r_t \\ n_2 \cdot \sqrt{1 - 2 \cdot \Delta_2 \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{\alpha_2}} & r_t \leq r \leq a \\ n_{cl}(r) & a < r \end{cases}$$

siendo a , el radio exterior de núcleo de índice gradual, r_t , el valor del radio en la zona de transición entre la zona interior y la zona exterior del núcleo, y con

$$\Delta_1 = \frac{\alpha_2 \Delta \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2 - \alpha_1}}{\alpha_1 + (\alpha_2 - \alpha_1) \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2}}$$

$$\Delta_2 = \frac{\alpha_1 \Delta}{(1 - 2\Delta) \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \left(\frac{r_t}{a}\right)^{\alpha_2} + \alpha_1}$$

$$n_1 = \frac{n_{cl}}{\sqrt{1 - 2\Delta}}$$

$$n_2 = n_{cl} \cdot \sqrt{\frac{(1-2\Delta) \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \left(\frac{r_l}{a}\right)^{\alpha_2} - \alpha_1}{(1-2\Delta) \cdot \left((\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \left(\frac{r_l}{a}\right)^{\alpha_2} - \alpha_1\right)}}$$

- 5 3. Fibra de la reivindicación 2, en la que el primer valor de exponente α_1 del perfil de índice gradual en la zona interior del núcleo se elige entre 2,05 y 2,10.
4. Fibra de la reivindicación 2 o 3, en la que el segundo valor del exponente α_2 del perfil de índice gradual en la zona exterior del núcleo es más pequeña en, al menos, 0,04 que el primer valor de exponente α_1 del perfil de índice gradual en la zona interior del núcleo, es decir $\alpha_1 > (\alpha_2 + 0,04)$.
- 10 5. Fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en la que la relación de r_l/a del valor de radio en la transición entre la zona interior y la zona exterior del núcleo respecto del radio externo del núcleo de índice gradual está comprendida entre 0,5 y 0,7.
- 15 6. Fibra de la reivindicación 5, que tiene un valor de retardo de dispersión modal (DMD) sobre una máscara exterior de 0 a 23 μm para una longitud de onda de 850 nm que es inferior a 0,40 ps/m, más preferiblemente inferior a 0,20 ps/m y más preferiblemente inferior a 0,14 ps/m.
- 20 7. Fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el núcleo central tiene un diámetro de 2 a 80 μm .
8. Fibra de la reivindicación 7, que tiene un valor de DMD sobre una máscara exterior de 0 a 37 μm para una longitud de onda de 850 nm que es inferior a 0,40 ps/m, de preferencia inferior a 0,20 ps/m y más preferiblemente inferior a 0,14 ps/m.
- 25 9. Fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el núcleo central tiene un diámetro, 2a, de 62,5 μm .
10. Fibra de la reivindicación 10, que tiene un valor de DMD sobre una máscara exterior de 0 a 29 μm para una longitud de onda de 850 nm que es inferior a 0,40 ps/m, más preferiblemente inferior a 0,20 ps/m y aún más preferiblemente inferior a 0,14 ps/m.
- 30 11. Fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende además un revestimiento interior de índice deprimido dispuesto entre el núcleo central y el revestimiento exterior.
- 35 12. Fibra de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, que comprende además una porción de escalón adyacente al núcleo central y un revestimiento interior de índice adyacente a la porción escalonada.
13. Sistema óptico que comprende, al menos, una porción de la fibra óptica multimodo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.
- 40 14. Sistema óptico de la reivindicación 13 que es una red de área local.

Figura 1A
DMD@850 nm de 80 μm MMF para $\alpha=2.04$

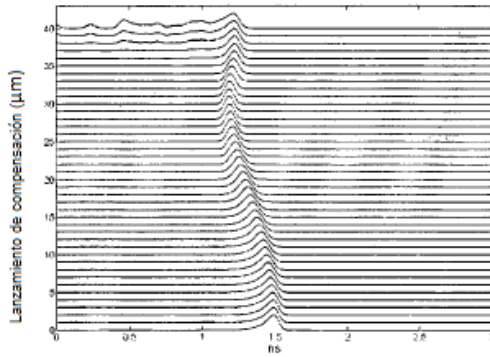


Figura 1B
DMD@850 nm de 80 μm MMF para $\alpha=2.06$

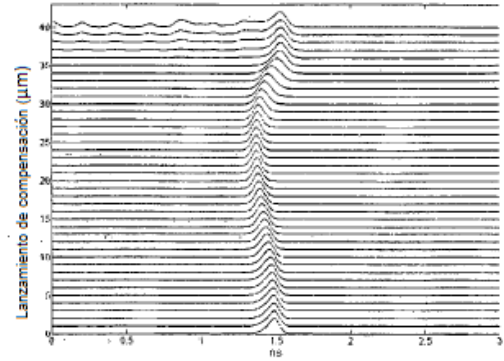


Figura 1C
DMD@850 nm de 80 μm MMF para $\alpha=2.08$

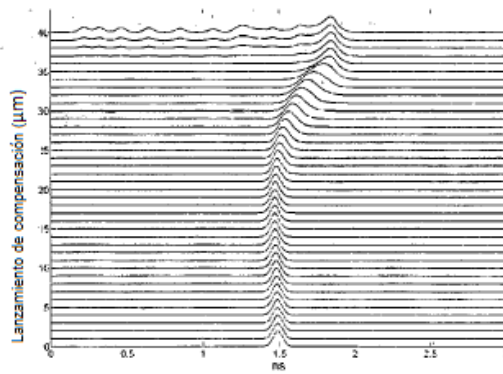


Figura 2

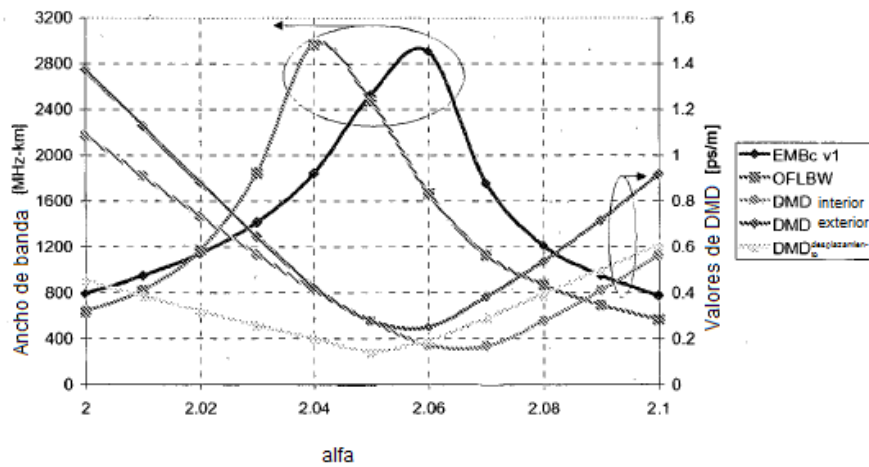


Figura 3A

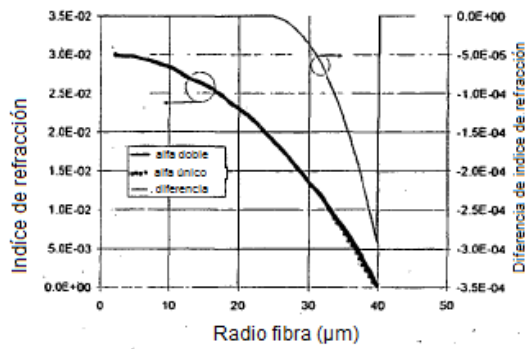


Figura 3B

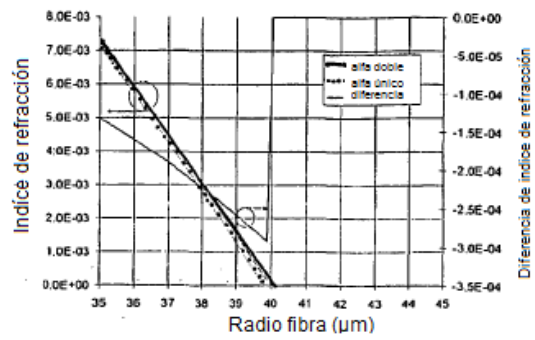


Figura 4A



Figura 4B

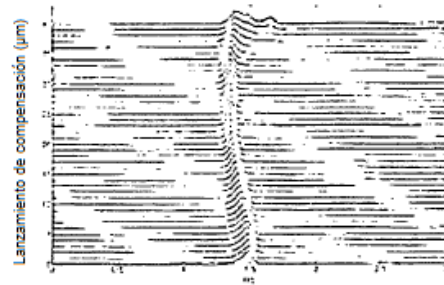


Figura 5A

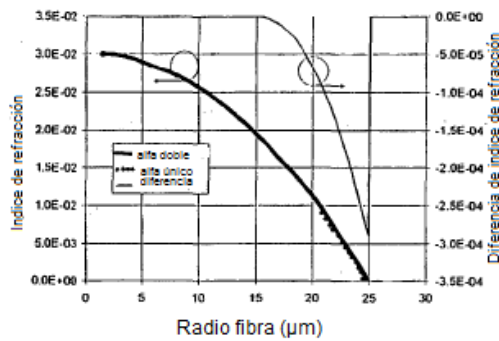


Figura 5B

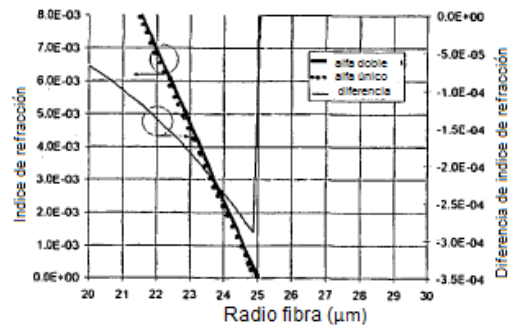


Figura 6A

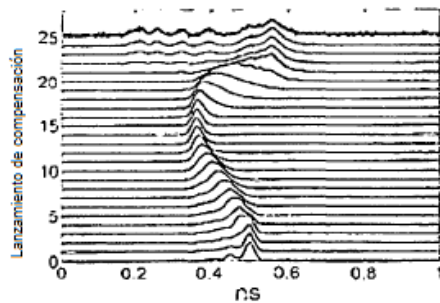


Figura 6B

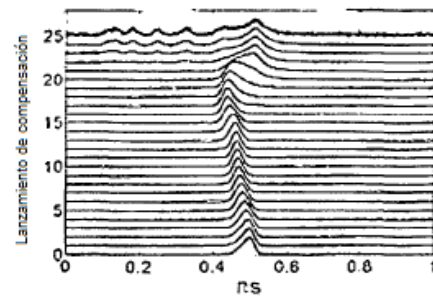


Figura 7A

MMF de 50 μm con alfa doble

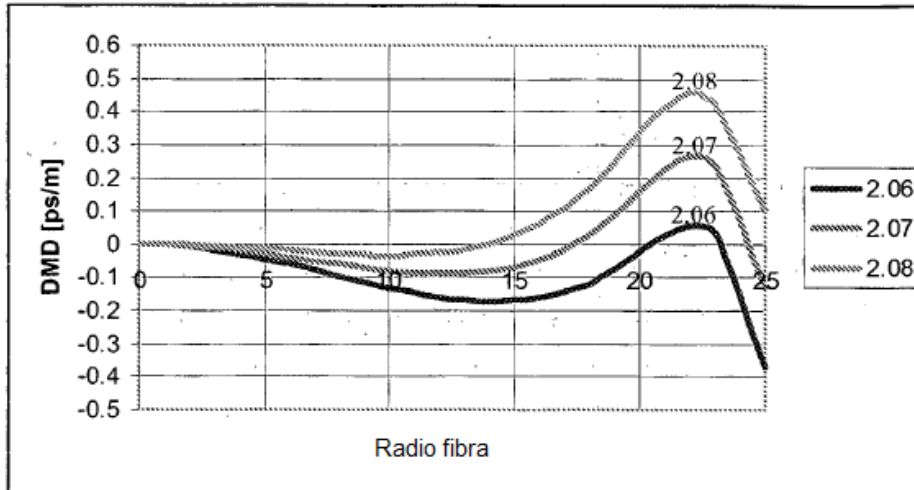


Figura 7B

MMF 50 μm con alfa único

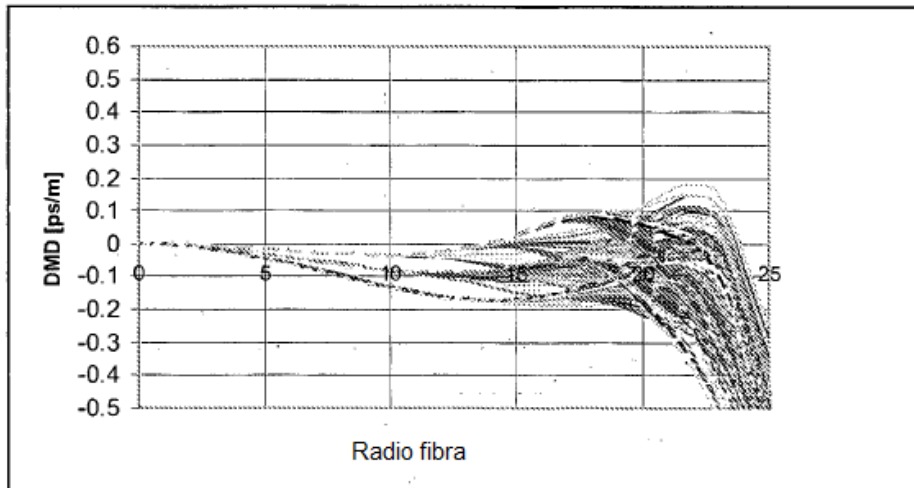


Figura 8A

MMF de 62,5 μm con alfa único

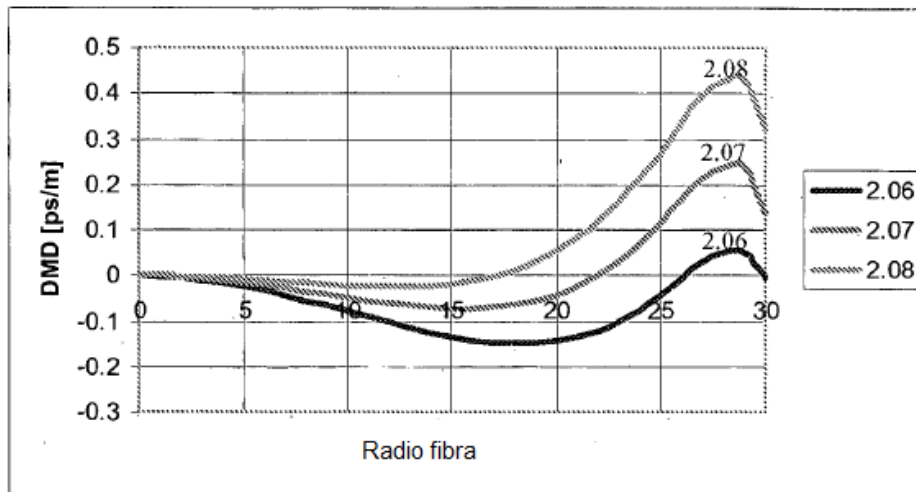


Figura 8B

MMF de 62,5 μm con alfa doble

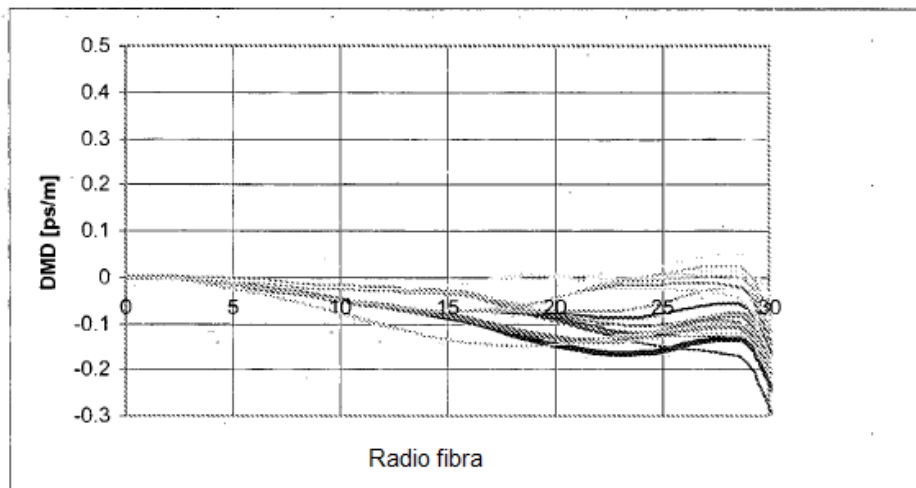


Figura 9A

MMF de 80 μm con alfa doble

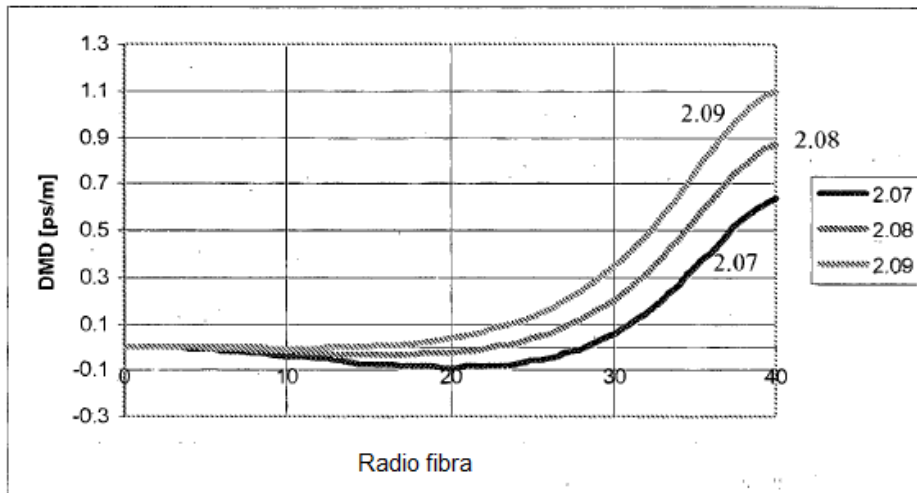


Figura 9B

MMF de 80 μm con alfa doble

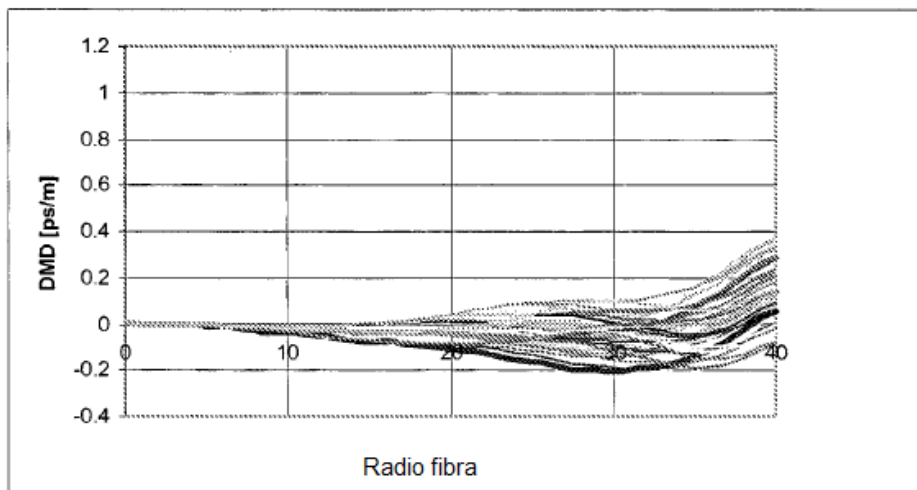


Figura 10

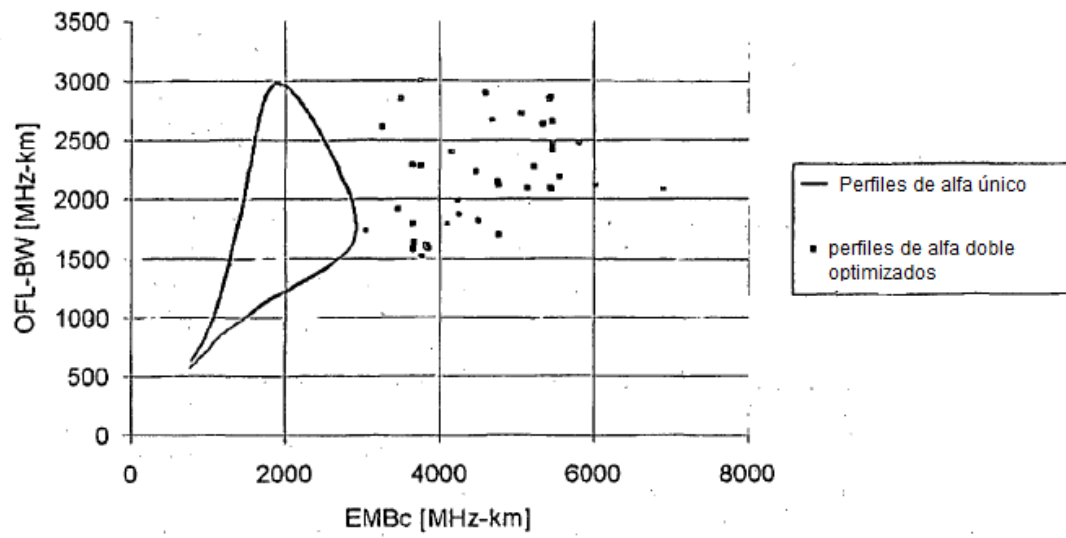


Figura 11

Lanzamiento de compensación		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
[μm]																											
Fuente 1	0	0.03	0.26	0.88	2.00	3.23	3.96	3.69	2.64	1.39	0.51	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	
		3023	2463	4923	9102	1216	1956	4686	4369	7552	1827	0549	4097	0048	1111	5094	3918	632	6799	9465	2152	9992	8832	2612	0282		
Fuente 2	0	0.02	0.18	0.63	1.44	2.37	3.05	3.15	2.73	2.06	1.38	0.83	0.41	0.16	0.04	0.04	0.11	0.21	0.30	0.32	0.26	0.16	0.07	0.02	0.00		
		3504	8044	4634	7235	6616	2908	0634	2324	0241	8339	4722	9715	0282	7143	4691	6152	9802	7088	9314	8541	697	3514	1793	2679		
Fuente 3	0	0	0	0	0.00	0.07	0.26	0.63	1.19	1.91	2.75	3.51	3.88	3.56	2.61	1.48	0.59	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	
					7414	2928	2906	7117	7628	6841	5231	4797	3317	1955	7093	0325	3724	3006	2051								
Fuente 4	0	0	0	0	0.00	0.05	0.20	0.48	0.89	1.40	1.95	2.43	2.63	2.39	1.81	1.29	1.24	1.70	2.24	2.39	1.95	1.21	0.53	0.15	0.01		
					5637	5488	005	3667	695	2833	7805	3247	9299	7238	6953	6977	0553	002	0664	4077	2429	3833	4474	8314	9738		
Fuente 5	0	0	0	0	0.00	0.02	0.10	0.25	0.45	0.66	0.82	1.00	1.29	1.81	2.50	3.16	3.57	3.61	3.32	2.74	1.95	1.13	0.49	0.14	0.01		
					3034	9856	7634	8329	8494	1247	6035	0204	4439	3982	695	4213	2113	8037	9662	5395	3241	7762	4404	6517	8328		
Fuente 6	0	0.01	0.12	0.40	0.92	1.48	1.82	1.70	1.21	0.64	0.23	0.09	0.20	0.52	1.02	1.61	2.21	2.70	2.93	2.73	2.09	1.26	0.55	0.16	0.02		
		5199	091	7702	5664	8762	5448	2306	8378	3911	8557	8956	4274	9982	4948	1695	0689	7415	88	932	0874	1564	214	3627	0443		
Fuente 7	0	0.01	0.12	0.43	0.98	1.58	1.94	1.81	1.29	0.68	0.25	0.13	0.32	0.84	1.56	2.22	2.55	2.46	2.08	1.57	1.05	0.59	0.25	0.07	0.00		
		6253	9011	4844	7184	76	6614	5285	9241	6635	585	1429	7091	8323	7513	4027	506	4566	7879	7111	6343	5102	6718	6096	9446		
Fuente 8	0	0.02	0.17	0.59	1.35	2.17	2.66	2.48	1.78	0.94	0.36	0.16	0.31	0.77	1.38	1.85	1.91	1.51	0.90	0.38	0.11	0.01	0.00	0.00	0		
		2057	639	5248	1845	4399	6278	6564	0897	5412	0494	3923	8712	8983	3174	3992	4123	1827	833	6991	176	4829	1818	054			
Fuente 9	0	0.01	0.08	0.28	0.65	1.13	1.62	2.04	2.29	2.28	1.93	1.38	0.87	0.67	0.81	1.07	1.25	1.25	1.11	0.87	0.60	0.34	0.15	0.04	0.00		
		043	3496	1802	028	0599	7046	4326	172	0813	7545	3006	8798	9756	236	4702	7323	5967	2456	9309	8183	8921	112	4757	5639		
Fuente	0	0.01	0.12	0.42	0.95	1.53	1.88	1.76	1.29	0.79	0.55	0.67	1.04	1.58	2.13	2.47	2.36	1.79	1.05	0.44	0.12	0.01	0	0	0	0	
		5681	4978	1548	7203	9535	7747	2955	2184	0844	938	3655	7689	9037	8626	0827	1764	8213	9264	4481	3304	2552					
Fuente	0	0	0.03	0.26	0.88	2.00	3.23	3.96	3.69	2.64	1.39	0.51	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	
					3023	2463	4923	9102	1216	1956	4686	4369	7552	1827	0549	4097	0048	1111	5094	3918	632	6799	9465	2152	9992	8832	2612
Fuente	0	0	0.02	0.18	0.63	1.44	2.37	3.05	3.15	2.73	2.06	1.38	0.83	0.41	0.16	0.04	0.04	0.11	0.21	0.30	0.32	0.26	0.16	0.07	0.02	0.02	
					3504	8044	4634	7235	6616	2908	0634	2324	0241	8339	4722	9715	0282	7143	4691	6152	9802	7088	9314	8541	697	3514	1793

[illegible]

Fuente	0	0	0.01	0.08	0.28	0.65	1.13	1.62	2.04	2.29	2.28	1.93	1.38	0.87	0.67	0.81	1.07	1.25	1.25	1.11	0.87	0.60	0.34	0.15
29			043	3496	1802	028	0599	7046	4326	172	0813	7545	3006	8798	9756	236	4702	7323	5967	2456	9309	8183	8921	112
Fuente	0	0	0.01	0.12	0.42	0.95	1.53	1.88	1.76	1.29	0.79	0.55	0.67	1.04	1.58	2.13	2.47	2.36	1.79	1.05	0.44	0.12	0.01	0
30			5681	4978	1548	7203	9535	7747	2955	2184	0844	938	3655	7689	9037	8626	0827	1764	8213	9264	4481	3304	2552	
Fuente	0	0	0	0.03	0.26	0.88	2.00	3.23	3.96	3.69	2.64	1.39	0.51	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01	
31			3023	2463	4923	9102	1216	1956	4686	4369	7552	1827	0549	4097	0048	1111	5094	3918	632	6799	9465	2152	9992	
Fuente	0	0	0	0.02	0.18	0.63	1.44	2.37	3.05	3.15	2.73	2.06	1.38	0.83	0.41	0.16	0.04	0.04	0.11	0.21	0.30	0.32	0.26	0.16
32			3504	8044	4634	7235	6616	2908	0634	2324	0241	8339	4722	9715	0282	7143	4691	6152	9802	7088	9314	8541	697	
Fuente	0	0	0	0	0	0	0.00	0.07	0.26	0.63	1.19	1.91	2.75	3.51	3.88	3.56	2.61	1.48	0.59	0.15	0.01	0	0	0
33			7414	2928	2906	7117	7628	6841	5231	4797	3317	1955	7093	0325	3724	3006	2051							
Fuente	0	0	0	0	0	0	0.00	0.05	0.20	0.48	0.89	1.40	1.95	2.43	2.63	2.39	1.81	1.29	1.24	1.70	2.24	2.39	1.95	1.21
34			5637	5488	005	3667	695	2833	7805	3247	9299	7238	6953	6977	0553	002	0664	4077	2429	3833				
Fuente	0	0	0	0	0	0	0.00	0.02	0.10	0.25	0.45	0.66	0.82	1.00	1.29	1.81	2.50	3.16	3.57	3.61	3.32	2.74	1.95	1.13
35			3034	9856	7634	8329	8494	1247	6035	0204	4439	3982	695	4213	2113	8037	9662	5395	3241	7762				
Fuente	0	0	0	0.01	0.12	0.40	0.92	1.48	1.82	1.70	1.21	0.64	0.23	0.09	0.20	0.52	1.02	1.61	2.21	2.70	2.93	2.73	2.09	1.26
36			5199	091	7702	5664	8762	5448	2306	8378	3911	8557	8956	4274	9982	4948	1695	0689	7415	88	932	0874	1564	
Fuente	0	0	0	0.01	0.12	0.43	0.98	1.58	1.94	1.81	1.29	0.68	0.25	0.13	0.32	0.84	1.56	2.22	2.55	2.46	2.08	1.57	1.05	0.59
37			6253	9011	4844	7184	76	6614	5285	9241	6635	585	1429	7091	8323	7513	4027	506	4566	7879	7111	6343	5102	
Fuente	0	0	0	0.02	0.17	0.59	1.35	2.17	2.66	2.48	1.78	0.94	0.36	0.16	0.31	0.77	1.38	1.85	1.91	1.51	0.90	0.38	0.11	0.01
38			2057	639	5248	1845	4399	6278	6564	0897	5412	0494	3923	8712	8983	3174	3992	4123	1827	833	6991	176	4829	
Fuente	0	0	0	0.01	0.08	0.28	0.65	1.13	1.62	2.04	2.29	2.28	1.93	1.38	0.87	0.67	0.81	1.07	1.25	1.25	1.11	0.87	0.60	0.34
39			043	3496	1802	028	0599	7046	4326	172	0813	7545	3006	8798	9756	236	4702	7323	5967	2456	9309	8183	8921	
Fuente	0	0	0	0.01	0.12	0.42	0.95	1.53	1.88	1.76	1.29	0.79	0.55	0.67	1.04	1.58	2.13	2.47	2.36	1.79	1.05	0.44	0.12	0.01
40			5681	4978	1548	7203	9535	7747	2955	2184	0844	938	3655	7689	9037	8626	0827	1764	8213	9264	4481	3304	2552	
Fuente	0	0	0	0.03	0.26	0.88	2.00	3.23	3.96	3.69	2.64	1.39	0.51	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	
41			3023	2463	4923	9102	1216	1956	4686	4369	7552	1827	0549	4097	0048	1111	5094	3918	632	6799	9465	2152		
Fuente	0	0	0	0.02	0.18	0.63	1.44	2.37	3.05	3.15	2.73	2.06	1.38	0.83	0.41	0.16	0.04	0.04	0.11	0.21	0.30	0.32	0.26	
42			3504	8044	4634	7235	6616	2908	0634	2324	0241	8339	4722	9715	0282	7143	4691	6152	9802	7088	9314	8541		
Fuente	0	0	0	0	0	0	0.00	0.07	0.26	0.63	1.19	1.91	2.75	3.51	3.88	3.56	2.61	1.48	0.59	0.15	0.01	0	0	0
43			7414	2928	2906	7117	7628	6841	5231	4797	3317	1955	7093	0325	3724	3006	2051							
Fuente	0	0	0	0	0	0	0.00	0.05	0.20	0.48	0.89	1.40	1.95	2.43	2.63	2.39	1.81	1.29	1.24	1.70	2.24	2.39	1.95	
44			5637	5488	005	3667	695	2833	7805	3247	9299	7238	6953	6977	0553	002	0664	4077	2429					

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible][illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

88		1827	833	6991	176	4829	1818	054												
Fuente		1.25	1.11	0.87	0.60	0.34	0.15	0.04	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89		5967	2456	9309	8183	8921	112	4757	5639											
Fuente		1.79	1.05	0.44	0.12	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90		8213	9264	4481	3304	2552														
Fuente		0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91		3918	632	6799	9465	2152	9992	8832	2612	0282										
Fuente		0.11	0.21	0.30	0.32	0.26	0.16	0.07	0.02	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92		6152	9802	7088	9314	8541	697	3514	1793	2679										
Fuente		0.59	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93		3724	3006	2051																
Fuente		1.24	1.70	2.24	2.39	1.95	1.21	0.53	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94		0553	002	0664	4077	2429	3833	4474	8314	9738										
Fuente		3.57	3.61	3.32	2.74	1.95	1.13	0.49	0.14	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95		2113	8037	9662	5395	3241	7762	4404	6517	8328										
Fuente		2.21	2.70	2.93	2.73	2.09	1.26	0.55	0.16	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96		0689	7415	88	932	0874	1564	214	3627	0443										
Fuente		2.55	2.46	2.08	1.57	1.05	0.59	0.25	0.07	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97		506	4566	7879	7111	6343	5102	6718	6096	9446										
Fuente		1.91	1.51	0.90	0.38	0.11	0.01	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98		4123	1827	833	6991	176	4829	1818	054											
Fuente		1.25	1.25	1.11	0.87	0.60	0.34	0.15	0.04	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99		7323	5967	2456	9309	8183	8921	112	4757	5639										
Fuente		2.36	1.79	1.05	0.44	0.12	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100		1764	8213	9264	4481	3304	2552													
Fuente		0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101		5094	3918	632	6799	9465	2152	9992	8832	2612	0282									
Fuente		0.04	0.11	0.21	0.30	0.32	0.26	0.16	0.07	0.02	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102		4691	6152	9802	7088	9314	8541	697	3514	1793	2679									
Fuente		1.48	0.59	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103		0325	3724	3006	2051															
Fuente		1.29	1.24	1.70	2.24	2.39	1.95	1.21	0.53	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[illegible]

[illegible]

136		4274	9982	4948	1695	0689	7415	88	932	0874	1564	214	3627	0443					
Fuente		0.32	0.84	1.56	2.22	2.55	2.46	2.08	1.57	1.05	0.59	0.25	0.07	0.00	0	0	0	0	0
137		7091	8323	7513	4027	506	4566	7879	7111	6343	5102	6718	6096	9446					
Fuente		0.31	0.77	1.38	1.85	1.91	1.51	0.90	0.38	0.11	0.01	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
138		8712	8983	3174	3992	4123	1827	833	6991	176	4829	1818	054						
Fuente		0.87	0.67	0.81	1.07	1.25	1.25	1.11	0.87	0.60	0.34	0.15	0.04	0.00	0	0	0	0	0
139		8798	9756	236	4702	7323	5967	2456	9309	8183	8921	112	4757	5639					
Fuente		1.04	1.58	2.13	2.47	2.36	1.79	1.05	0.44	0.12	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0
140		7689	9037	8626	0827	1764	8213	9264	4481	3304	2552								
Fuente		0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
141		0549	4097	0048	1111	5094	3918	632	6799	9465	2152	9992	8832	2612	0282				
Fuente		0.83	0.41	0.16	0.04	0.04	0.11	0.21	0.30	0.32	0.26	0.16	0.07	0.02	0.00	0	0	0	0
142		4722	9715	0282	7143	4691	6152	9802	7088	9314	8541	697	3514	1793	2679				
Fuente		3.51	3.88	3.56	2.61	1.48	0.59	0.15	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
143		4797	3317	1955	7093	0325	3724	3006	2051										
Fuente		2.43	2.63	2.39	1.81	1.29	1.24	1.70	2.24	2.39	1.95	1.21	0.53	0.15	0.01	0	0	0	0
144		3247	9299	7238	6953	6977	0553	002	0664	4077	2429	3833	4474	8314	9738				
Fuente		1.00	1.29	1.81	2.50	3.16	3.57	3.61	3.32	2.74	1.95	1.13	0.49	0.14	0.01	0	0	0	0
145		0204	4439	3982	695	4213	2113	8037	9662	5395	3241	7762	4404	6517	8328				
Fuente		0.09	0.20	0.52	1.02	1.61	2.21	2.70	2.93	2.73	2.09	1.26	0.55	0.16	0.02	0	0	0	0
146		8956	4274	9982	4948	1695	0689	7415	88	932	0874	1564	214	3627	0443				
Fuente		0.13	0.32	0.84	1.56	2.22	2.55	2.46	2.08	1.57	1.05	0.59	0.25	0.07	0.00	0	0	0	0
147		1429	7091	8323	7513	4027	506	4566	7879	7111	6343	5102	6718	6096	9446				
Fuente		0.16	0.31	0.77	1.38	1.85	1.91	1.51	0.90	0.38	0.11	0.01	0.00	0.00	0	0	0	0	0
148		3923	8712	8983	3174	3992	4123	1827	833	6991	176	4829	1818	054					
Fuente		1.38	0.87	0.67	0.81	1.07	1.25	1.25	1.11	0.87	0.60	0.34	0.15	0.04	0.00	0	0	0	0
149		3006	8798	9756	236	4702	7323	5967	2456	9309	8183	8921	112	4757	5639				
Fuente		0.67	1.04	1.58	2.13	2.47	2.36	1.79	1.05	0.44	0.12	0.01	0	0	0	0	0	0	0
150		3655	7689	9037	8626	0827	1764	8213	9264	4481	3304	2552							

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citado en la descripción

- EP 2144096 A [0012]
- JP 2007272239 A [0024]
- JP 2001235648 A [0025]
- US 20100154478 A [0026]
- US 7315677 B [0027]
- WO 0050936 A [0028]
- EP 0131729 A [0043]
- WO 2008085851 A [0043]

10 Bibliografía de patentes citada en la descripción

- **D. GLOGE et al.** Multimode theory of graded-core fibres. *Bell System Technical Journal*, 1973, 1563-1578 [0005]
- **G. YABRE.** Comprehensive theory of dispersion in graded-index optical fibers. *Journal of Lightwave Technology*, February 2000, vol. 18 (2), 166-177 [0005]
- **R.E. FREUND.** High-Speed Transmission in Multimode Fibers. *JLT*, February 2010, vol. 28 (4 [0029]