

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 524**

51 Int. Cl.:

G02B 6/32

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.04.2013 PCT/EP2013/057310**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.10.2013 WO13153032**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.04.2013 E 13715201 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018 EP 2836864**

54 Título: **Haz expandido insensible a la longitud de onda con fibra de GRIN**

30 Prioridad:

11.04.2012 US 201261622801 P
14.03.2013 US 201313826473

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.04.2018

73 Titular/es:

COMMSCOPE ASIA HOLDINGS B.V. (100.0%)
Olmenlaan 26
1404 DG Bussum, NL

72 Inventor/es:

FLORIS, SANDER JOHANNES;
DUIS, JEROEN ANTONIUS;
RIETVELD, JAN WILLEM y
SMINK, RUTGER WILHELMUS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 661 524 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

Haz expandido insensible a la longitud de onda con fibra de GRIN

La presente solicitud reivindica el beneficio de la Solicitud Provisional de EE. UU. No. 61/622.801, registrada el 11 de abril de 2012.

5 Introducción

Esta descripción se refiere en general a interconexiones entre fibras ópticas y más específicamente se refiere al uso de lentes de fibra de índice gradual (GRIN) para hacer conexiones de fibras ópticas que tienen un gran ancho de banda y son adecuadas para aplicaciones de alta potencia.

10 Las fibras ópticas encuentran una amplia gama de aplicaciones, desde sistemas de comunicación de datos de alta velocidad hasta dispositivos quirúrgicos que emplean láseres de alta potencia. A menudo los conectores ópticos se necesitan en sistemas ópticos de fibra para servir a fines tales como empalmar cables ópticos y conectar una variedad de herramientas láser a cables ópticos. Existe una necesidad continua de proporcionar conectores ópticos de alta eficiencia para minimizar la pérdida de potencia en la transmisión óptica. Los conectores ópticos convencionales, especialmente aquellos para aplicaciones de láseres de alta potencia, o no han sido diseñados para 15 minimizar la pérdida debida a la dispersión cromática para haces de amplio espectro o imponen requisitos extremadamente estrictos sobre el material. El documento US6990271 describe una lente de índice gradual para colimadores que tiene una aberración cromática de lente muy baja.

La presente descripción describe una conexión basada en lentes GRIN para acoplar fibras ópticas y una metodología para diseñar dicha conexión.

20 Sumario

Esta descripción presenta un sistema de conexión de lentes de fibra GRIN especialmente adecuado para aplicaciones de láseres de alta potencia. La invención se define en las reivindicaciones. En un aspecto, se describe un sistema de haz expandido de lente de fibra GRIN que es eficiente en una amplia región espectral, por ej., un intervalo de aproximadamente 200 nm, 300 nm o 400 nm, para acoplar una fibra óptica (como una fibra monomodo) a otra. En un ejemplo, un sistema de haz expandido con lente de fibra GRIN es eficiente en un intervalo de 25 longitudes de onda de aproximadamente 400 nm a aproximadamente 800 nm. En otro ejemplo, las longitudes de onda varían de aproximadamente 190 nm a aproximadamente 390 nm. En un ejemplo adicional, las longitudes de onda varían de aproximadamente 1270 nm a aproximadamente 1650 nm.

En un método ejemplar para diseñar dicho sistema de acoplamiento, basado en una relación que incorpora la dependencia de la longitud de onda de un perfil parabólico de índice de refracción derivado de, por ejemplo, la ecuación de Sellmeier, la concentración de dopaje del revestimiento puede optimizarse de manera que la diferencia en el 1/2-paso de la lente de fibra GRIN en dos o más longitudes de onda dentro del intervalo deseado de longitudes de onda se reduce al mínimo. La relación así derivada permite el establecimiento de niveles de concentración de dopado de revestimiento de modo que el índice de refracción del núcleo tiene una relación sustancialmente fija con el índice de refracción del revestimiento en función de la longitud de onda. 35

En un ejemplo ilustrativo en la presente descripción, los núcleos de las lentes de fibra GRIN están sustancialmente desprovistos de germanio, lo que es perjudicial para la transmisión de luz en el intervalo de longitudes de onda del UV. En cambio, el revestimiento de las lentes de fibra GRIN está dopado con un elemento, como el flúor, que reduce el índice de refracción del revestimiento. El nivel de dopado del elemento (por ejemplo, flúor) se puede elegir de manera que la longitud de medio paso, z_p , para al menos dos longitudes de onda predeterminadas sea la misma. 40

La metodología de diseño presentada en los ejemplos en la presente descripción permite optimizar la lente de fibra GRIN independientemente de la longitud de onda dentro de las limitaciones de los materiales utilizados para fabricar la fibra.

Breve descripción de los dibujos

45 La Fig. 1 muestra esquemáticamente un sistema de conexión GRIN de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La Fig. 2 muestra (a) un gráfico ilustrativo del radio de campo modal en una función de la posición a lo largo del eje óptico de las lentes de fibra GRIN en un sistema convencional típico de conexión de haz expandido, y (b) una porción agrandada del gráfico (a).

50 La Fig. 3 muestra (a) un gráfico ilustrativo de radio de campo modal en función de la posición a lo largo del eje óptico de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido de acuerdo con un aspecto de la presente descripción, y (b) una porción agrandada del gráfico (a).

La Fig. 4 muestra gráficamente una solución numérica para el nivel óptimo de dopado de flúor en el revestimiento de la lente de fibra GRIN de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La Fig. 5 muestra un gráfico de la falta de coincidencia de la longitud de medio paso, z_p , en función de la longitud de onda para una lente de fibra GRIN optimizada según un aspecto de la presente descripción.

5 La Fig. 6 muestra un gráfico del radio de campo modal en función de la posición a lo largo del eje óptico de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 50 μm de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

10 La Fig. 7 muestra un gráfico del radio de campo modal en función de la posición a lo largo del eje óptico de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 62,5 μm de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La Fig. 8 muestra un gráfico del radio de campo modal en función de la posición a lo largo del eje óptico de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 80 μm de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

15 La Fig. 9 muestra un gráfico del radio de campo modal en función de la posición a lo largo del eje óptico de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 100 μm según un aspecto de la presente descripción.

La Fig. 10 muestra la atenuación de la señal en función de la longitud total de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 50 μm de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

20 La Fig. 11 muestra la atenuación de la señal en función de la longitud total de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 62,5 μm de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

25 La Fig. 12 muestra la atenuación de la señal en función de la longitud total de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 80 μm de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

La Fig. 13 muestra la atenuación de la señal en función de la longitud total de las lentes de fibra GRIN en un sistema de conexión de haz expandido con un diámetro de núcleo de 100 μm de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

Descripción detallada

30 En la interfaz de conexión en una conexión separable entre dos fibras ópticas, la densidad de energía se reduce deseablemente para reducir la atenuación de potencia óptica debido a la desalineación de la fibra, la intrusión de polvo y similares. Por lo tanto, es deseable una solución de haz expandido. Una lente implementada por una fibra GRIN de longitud corta facilita la expansión del haz de luz, por lo que la interfaz se elige a la mitad de longitud (1/4 de paso) de la lente. Sin embargo, cuando el GRIN no se diseña cuidadosamente, esta solución es propensa a la dispersión del material, es decir, la transmisión depende de la longitud de onda, lo que conduce a un acoplamiento ineficaz para varias longitudes de onda. Además, la región del núcleo de la fibra típicamente tiene dopaje con germanio para aumentar el índice de refracción. En longitudes de onda del UV de alta potencia, la presencia de germanio es inadmisibles. El propósito de ciertos ejemplos divulgados en la presente descripción es crear un perfil de índice graduado a través del dopaje con flúor, permitiendo que el conector funcione de manera eficiente a longitudes de onda del UV. En ciertos ejemplos, se usa un núcleo de sílice pura, y la concentración de flúor se ajusta de tal manera que el sistema se vuelva suficientemente independiente de la longitud de onda para la región espectral de interés.

45 Un sistema ejemplar 100 de conexión de haz expandido de lente de fibra GRIN de acuerdo con un aspecto de la presente descripción se muestra esquemáticamente en la Fig. 1. En esta configuración, una lente de fibra GRIN 110, que puede incluir dos mitades separadas 110a y 110b, con una interfaz 160, conecta ópticamente dos fibras ópticas 120 y 140, en las interfaces 130 y 150, respectivamente. La lente de fibra GRIN y las fibras ópticas 120 y 140 en este ejemplo son de forma cilíndrica sólida, teniendo cada una un eje óptico alineado a lo largo del eje z. La lente de fibra GRIN 110 en este ejemplo está compuesta por dos segmentos 110a y 110b de fibra óptica del mismo diámetro que las fibras ópticas 120 y 140 a las que están conectados los segmentos 110a y 110b, respectivamente, pero que pueden ser de otras dimensiones transversales. Además, la interfaz 160 entre las dos mitades 110a y 110b puede ser una interfaz de contacto entre las dos mitades, pero también puede ser un espacio de aire, espacio de vacío, o un espacio lleno con otro medio. En el caso de una separación de aire o vacío, la longitud total de la lente 110 es la suma de las longitudes de los segmentos 110a y 110b.

55 Las fibras ópticas 120 y 130 pueden ser cualesquiera fibras ópticas adecuadas, incluidas las fibras ópticas monomodo.

El núcleo de la lente de fibra GRIN 110 en este ejemplo tiene un perfil de índice de refracción generalmente parabólico en el plano x-y. Es decir, el índice de refracción $n(r)$ se puede expresar generalmente como la siguiente función de la distancia r en el plano x-y y del eje óptico:

$$n(r) = n_{co} \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{R}\right)^2},$$

5 donde n_{co} es el índice de refracción del núcleo en el centro (es decir, a lo largo del eje óptico) de la lente de fibra GRIN, y Δ está relacionado con la diferencia entre el índice de refracción del núcleo y del revestimiento. El índice de refracción del revestimiento, n_{cl} , es constante en toda la región del revestimiento y es típicamente el valor de $n(r)$ en el radio, R , del núcleo.

10 Para lograr el perfil parabólico del índice de refracción del núcleo, típicamente se usa el dopaje de un elemento, tal como el germanio, que aumenta el índice de refracción del material huésped, tal como la sílice. Sin embargo, el germanio es perjudicial para la transmisión de luz UV, que es un componente espectral importante en ciertas aplicaciones de láseres de alta potencia. Por lo tanto, en ciertos ejemplos de lentes de fibra GRIN de acuerdo con la presente descripción, no se usa el dopaje con germanio. En cambio, el revestimiento se dopa con flúor para reducir el índice de refracción del revestimiento. Además, se crea un índice de refracción parabólico en el núcleo aumentando gradualmente la concentración de flúor radialmente desde el centro del núcleo. En la región del revestimiento, la concentración de flúor se mantiene sustancialmente constante en toda la misma.

El sistema de conexión está sintonizado de manera que la transmisión de luz es sustancialmente independiente de la longitud de onda en un intervalo deseable, tal como un intervalo de 200 nm, 300 nm o 400 nm. En un ejemplo, el sistema de conexión está sintonizado de manera que la transmisión de luz es sustancialmente independiente de la longitud de onda en un intervalo de longitudes de onda de aproximadamente 405 nm a aproximadamente 800 nm. En otro ejemplo, las longitudes de onda varían de aproximadamente 190 nm a aproximadamente 390 nm. En un ejemplo adicional, las longitudes de onda varían de aproximadamente 1270 nm a aproximadamente 1650 nm.

25 Como se usa en esta solicitud, "sustancialmente independiente" significa que las longitudes de medio paso para el intervalo de longitudes de onda (por ejemplo, 405 a 800 nm) difieren en no más que aproximadamente 1 μ m. En un ejemplo, el sistema se sintoniza, por ejemplo, mediante dopado con flúor en una cantidad apropiada en el revestimiento, de manera que la longitud de medio paso, z_p , es sustancialmente la misma para dos longitudes de onda particulares en el intervalo de longitudes de onda deseado. Por ejemplo, dos longitudes de onda en o cerca de los extremos opuestos del intervalo deseado pueden hacerse sustancialmente iguales. Como un ejemplo más específico, z_p se puede hacer sustancialmente la misma para 405 nm y 800 nm en el intervalo de 405 nm a 800 nm.

30 El sistema de conexión puede sintonizarse alternativamente para satisfacer otras condiciones. Por ejemplo, el sistema puede sintonizarse mediante dopado con flúor de forma que se pueda minimizar la dispersión total (por ejemplo, basada en la suma de los mínimos cuadrados) de z_p para varias longitudes de onda seleccionadas.

Lo que sigue es un esquema de una metodología ejemplo para lograr una conexión sustancialmente independiente de la longitud de onda de acuerdo con un aspecto de la presente descripción. El semiperíodo de los rayos para un perfil parabólico es (véase, por ejemplo, A.W. Snyder, "Optical Waveguide Theory", 1983)

$$\overline{z_p} = \frac{\pi R \overline{\beta}}{n_{co} \sqrt{2\Delta}},$$

donde n_{co} es el índice de refracción en el centro del núcleo, $\overline{\beta}$ es el coeficiente de propagación.

40 Considera los campos modales linealmente polarizados (LP) que están asociados con un perfil de índice de refracción parabólico infinito. Esta aproximación facilita el cálculo, ya que los campos son analíticamente conocidos en términos de polinomios de Laguerre. Después de calcular la integral de superposición, el campo eléctrico total en el GRIN como suma de todos los modos guiados con su amplitud:

$$\underline{E} = \sum_{l,m} a_{l,m} \underline{E}_{l,m} e^{-j\beta(l,m)z}$$

donde (l, m) representan el índice azimutal y radial, y donde β denota el coeficiente de propagación.

45 La expansión del campo es causada por la interferencia constructiva de los campos electromagnéticos modales. En la figura 2(a), el ancho del haz $1/e^2$ se representa en función de la coordenada longitudinal. Nótese, especialmente en la Fig. 2(b), que la longitud de medio paso depende de la longitud de onda. La longitud total de la lente de fibra

GRIN se puede elegir para minimizar los diámetros totales de campo modal para varias longitudes de onda. Por ejemplo, en el caso ilustrado en las Figs. 2(a) y 2(b), la longitud óptima de la lente 110 total de fibra GRIN es aproximadamente 0,558 mm.

5 Diseñando adecuadamente los parámetros de los materiales, es posible lograr un sistema de conexión en el que la longitud de medio paso sea sustancialmente independiente de la longitud de onda, como se ilustra en las Figs. 3(a) y 3 (b). El siguiente enfoque ejemplo se usó para ajustar las propiedades de los materiales para lograr dicho resultado.

La teoría de los campos electromagnéticos modales aproximados se entiende bien para el perfil de índice de refracción dado (véase, por ej., A. Ghatak y K. Thyagarajan, "An Introduction to Fibre Optics", 1ª edición, Cambridge University Press, 1998). Dado los campos eléctricos y magnéticos, la distribución de intensidad está dada por

10
$$\underline{S}(x, y, z) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left\{ \underline{E}(x, y, z) \times \underline{H}^*(x, y, z) \right\}.$$

El término z-dependiente viene dado por

$$S_z(z) = \operatorname{Re} \left\{ \sum_i \exp(2j\beta_i z) \right\} = \sum_i \cos[2\beta_i z].$$

donde el coeficiente de propagación β para un perfil parabólico de índice de refracción viene dado por

$$\beta_i = k_0 n_{\text{núcleo}} \sqrt{1 - \frac{2i}{k_0 n_{\text{núcleo}}^2 R} \sqrt{n_{\text{núcleo}}^2 - n_{\text{revestimiento}}^2}}.$$

15 Usando la expansión de Taylor, se puede obtener un valor de β mediante

$$\beta_i \approx k_0 n_{\text{núcleo}} - i \frac{\sqrt{n_{\text{núcleo}}^2 - n_{\text{revestimiento}}^2}}{n_{\text{núcleo}} R} = \beta_0 + i\Delta\beta.$$

Los coeficientes de propagación están regularmente espaciados. Considérese que el campo se propaga una longitud z_p a donde todos los constituyentes de fase se convierten en un múltiplo de 2π con respecto al modo fundamental, es decir,

20
$$\sum_i \cos[2\beta_i z_p] = \sum_i \cos[2(\beta_0 + i\Delta\beta)z_p],$$

donde se requiere que para el primer medio período,

$$2\Delta\beta z_p = 2\pi.$$

Para el caso en el que las fases de los grupos modales degenerados interfieren de manera constructiva, los presentes inventores dedujeron una expresión de forma cerrada para la longitud de medio paso z_p :

25
$$z_p = \frac{\pi n_{\text{núcleo}} R}{\sqrt{n_{\text{núcleo}}^2 - n_{\text{revestimiento}}^2}}$$

Por lo tanto, la longitud z_p depende de R, al igual que la expansión del haz. De forma similar, cuando se considera el enfoque de óptica geométrica, se puede obtener que la longitud de medio paso (semiperíodo de rayo) \bar{z}_p de un perfil parabólico es (véase, por ej., A.W. Snyder, "Optical Waveguide Theory", 1983).

$$\bar{z}_p = \frac{\pi R \bar{\beta}}{n_{co} \sqrt{2\Delta}},$$

donde n_{co} es el índice de refracción en el centro del núcleo, $\bar{\beta}$ es el invariante de rayo que se comporta de manera similar al coeficiente de propagación, R es el radio del núcleo y Δ está relacionado con la diferencia entre los índices

$$z_p = z_p \Big|_{\bar{\beta}=n_{co}}$$

de refracción del núcleo y del revestimiento. Adviértase que el paso medio es similar a la longitud del paso medio.

- 5 En vista del perfil de índice de refracción dependiente de la longitud de onda, la concentración de flúor en el revestimiento puede elegirse de manera que el numerador y el denominador de z_p varíen de manera similar. Si luego se describe la dependencia de la longitud de onda del núcleo y el índice de refracción del revestimiento con, por ejemplo, la ecuación de Sellmeier, se puede formular un problema de minimización con la concentración de flúor (XF) como el parámetro desconocido.
- 10 Por ejemplo, la concentración de flúor (XF) puede elegirse de manera que, para las longitudes de onda de 405 nm y 800 nm,

$$n_{nucleo}^2(\lambda_2) - n_{nucleo}^2(\lambda_1) + \sum_{i=1}^3 \left[\frac{n_{nucleo}^2(\lambda_2) b_i(XF) \lambda_1^2}{\lambda_1^2 - \lambda_i^2(XF)} - \frac{n_{nucleo}^2(\lambda_1) b_i(XF) \lambda_2^2}{\lambda_2^2 - \lambda_i^2(XF)} \right] = 0$$

- 15 Como se muestra en la Fig. 4, se puede obtener fácilmente una solución para esta ecuación. En ese ejemplo particular, la fracción molar óptima de flúor es aproximadamente 0,016. La fibra resultante no es independiente de la longitud de onda en todo el espectro, como se muestra en la Fig. 5. Sin embargo, es sustancialmente independiente para la región de interés, como los datos resumidos a continuación demuestran:

Radio R [μm]	z_p media [mm]	Variación [μm]
25	0,512	+/- 0,3
31,25	0,640	+/- 0,4
40	0,819	+/- 0,5

- 20 Dada la concentración óptima de flúor en el revestimiento, la longitud total de la lente de fibra GRIN se puede obtener fácilmente mediante los cálculos de mínimos cuadrados para z_p para las diversas longitudes de onda en el intervalo de longitudes de onda. Para el ejemplo de la Fig. 3, la longitud de la lente óptica es de aproximadamente 0,525 mm.

Ejemplos

- 25 Una vez que se ha fijado la concentración del revestimiento (y, por lo tanto, la NA), el aumento del radio R aumenta z_p , pero también la expansión del haz. Ejemplos de perfiles MFR y otros datos para lentes de fibra GRIN con dopado de flúor óptimo tratados anteriormente se dan en los siguientes ejemplos.

Ejemplo 1

Los MFRs en función de la posición z para diferentes longitudes de onda para $R = 50 \mu\text{m}$ se representan en la Fig. 6. Ciertos datos relacionados se muestran en la tabla siguiente:

λ [nm]	MFD (0) [μm]	MFD ($z_p/2$) [μm]	Factor de expansión
405	3	16,9	5,5
488	3,4	16,5	4,9
560	3,8	15,4	4,1
640	4,3	13,7	3,2
800	5,8	9,5	1,7

La sensibilidad a la longitud de longitud total, expresada en términos de atenuación de potencia en función de la posición z, para las diversas longitudes de onda, se muestra en la Fig. 10. En la Fig. 10 se ve que para permanecer por debajo de una atenuación de 0,2 dB la tolerancia en la longitud es de aproximadamente 10 μm .

Ejemplo 2

- 5 Los MFRs en función de la posición z para diferentes longitudes de onda para R = 62,5 μm se representan en la Fig. 7. Ciertos datos relacionados se muestran en la tabla a continuación:

λ [nm]	MFD (0) [μm]	MFD ($z_p/2$) [μm]	Factor de expansión
405	3	21,3	7
488	3,4	20,6	6,1
560	3,8	19,3	5,1
640	4,3	16,9	4
800	5,8	12	2,1

- 10 La sensibilidad a la longitud total de la lente, expresada en términos de atenuación de potencia en función de la posición z, para las diversas longitudes de onda, se muestra en la Fig. 11. En la Fig. 11 se ve que para permanecer por debajo de 0,2 dB de atenuación la tolerancia en la longitud permanece alrededor de 10 μm .

Ejemplo 3

- Los MFRs en función de la posición z para diferentes longitudes de onda para R = 80 μm se representan en la Fig. 8. Ciertos datos relacionados se muestran en la tabla a continuación:

λ [nm]	MFD (0) [μm]	MFD ($z_p/2$) [μm]	Factor de expansión
405	3	27,3	8,9
488	3,4	26,4	7,8
560	3,8	24,5	6,5
640	4,3	22	5,1
800	5,8	15,3	2,6

- 15 La sensibilidad a la longitud total de la lente, expresada en términos de atenuación de potencia en función de la posición z, para las diversas longitudes de onda, se muestra en la Fig. 12. En la Fig. 12 se ve que para permanecer por debajo de 0,2 dB de atenuación la tolerancia en la longitud permanece alrededor de 10 μm .

Ejemplo 4

- 20 Los MFRs en función de la posición z para diferentes longitudes de onda para R = 100 μm se representan en la Fig. 9. Ciertos datos relacionados se muestran en la tabla a continuación:

λ [nm]	MFD (0) [μm]	MFD ($z_p/2$) [μm]	Factor de expansión
405	3	-	-
488	3,4	26,4	9,7
560	3,8	24,5	8,1
640	4,3	22	6,3
800	5,8	15,3	3,3

La sensibilidad a la longitud total de la lente, expresada en términos de atenuación de potencia en función de la posición z , para las diversas longitudes de onda, se muestra en la Fig. 13. En la Fig. 13 se ve que para permanecer por debajo de 0,2 dB de atenuación la tolerancia en la longitud permanece alrededor de 10 μm .

5 Por lo tanto, se ha logrado una conexión de lente de fibra GRIN sustancialmente independiente de la longitud de onda de acuerdo con la presente descripción. Debido a que muchas realizaciones de la invención pueden realizarse sin apartarse del alcance de la invención, la invención reside en las reivindicaciones adjuntas a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de acoplamiento óptico para conectar ópticamente dos fibras ópticas, sistema que comprende una lente de fibra de índice gradual ("GRIN") que define un eje óptico y dos extremos dispuestos separados a lo largo del eje óptico,
- 5 la lente de fibra GRIN que es ópticamente conectable a dos fibras ópticas, cada una en uno de los dos extremos respectivos,
la lente de fibra GRIN que tiene una longitud de medio paso que difiere en no más que aproximadamente 1 μm en un intervalo de longitudes de onda de al menos aproximadamente 200 nm, caracterizada porque
- 10 lente de fibra GRIN que además define una longitud total de lente de sustancialmente un múltiplo entero de la longitud de medio paso a lo largo del eje óptico, y
la lente de fibra GRIN comprende un núcleo definido a lo largo del eje óptico y un revestimiento que rodea axialmente el núcleo, revestimiento que tiene un índice de refracción más bajo que la sílice pura.
2. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 1, en el que el revestimiento contiene flúor.
3. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 2, en el que la lente de fibra GRIN está sustancialmente libre de germanio.
- 15 4. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 3, en el que el revestimiento contiene aproximadamente una fracción molar de flúor de 0,016.
5. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 1, en el que la longitud total de la lente de fibra GRIN es sustancialmente una longitud de medio paso.
- 20 6. El sistema de acoplamiento óptico según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la lente de fibra GRIN tiene una longitud de medio paso que difiere en no más que aproximadamente 1 μm en un intervalo de longitudes de onda de al menos aproximadamente 300 nm.
7. El sistema de acoplamiento óptico según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la lente de fibra GRIN tiene una longitud de medio paso que difiere en no más que aproximadamente 1 μm en un intervalo de longitudes de onda de al menos aproximadamente 400 nm.
- 25 8. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 7, en el que la lente de fibra GRIN tiene una longitud de medio paso que es sustancialmente independiente de la longitud de onda en un intervalo de longitudes de onda de aproximadamente 405 nm a aproximadamente 800 nm.
9. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 1, en el que las longitudes de medio paso para dos longitudes de onda difieren en no más que aproximadamente 100 nm.
- 30 10. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 1, en el que la lente de fibra GRIN comprende dos porciones de lente separadas por una interfaz entre las mismas.
11. Un sistema óptico, que comprende:
un sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 1, y
- 35 dos fibras ópticas, definiendo cada una un extremo, estando el extremo de cada fibra óptica interconectado con uno respectivo de los dos extremos de la lente de fibra GRIN.
12. El sistema de acoplamiento óptico según la reivindicación 11, en el que las dos fibras ópticas son fibras monomodo.
13. Un método para hacer un sistema de acoplamiento óptico para transmitir un haz óptico desde una fibra óptica a otra fibra óptica, método que comprende:
seleccionar un intervalo de longitudes de onda sobre las cuales el sistema de acoplamiento debe transmitir;
- 40 proporcionar una lente de fibra GRIN que define un eje óptico y dos extremos dispuestos separados a lo largo del eje óptico, lente de fibra GRIN (110) que comprende un núcleo definido a lo largo del eje óptico y un revestimiento que rodea axialmente el núcleo, revestimiento que tiene un índice de refracción más bajo que la sílice pura, siendo la lente de fibra GRIN ópticamente conectable a dos fibras ópticas, cada una en uno de los
- 45 dos extremos respectivos,

determinar un perfil de composiciones para la lente de fibra GRIN de manera que la atenuación de la potencia óptica por la lente de fibra GRIN sea inferior a 1 dB para todas las longitudes de onda en el intervalo de longitudes de onda seleccionado, y

5 las longitudes de medio paso para dos longitudes de onda en el intervalo de longitudes de onda difieren en no más que aproximadamente $1\ \mu\text{m}$, en un intervalo de longitudes de onda de al menos aproximadamente 200 nm,

lente de fibra GRIN que tiene el perfil de composiciones determinado y que define una longitud total de lente de sustancialmente un múltiplo entero de la longitud de medio paso a lo largo del eje óptico.

10 **14.** El método según la reivindicación 13, en el que el intervalo de longitudes de onda incluye longitudes de onda del UV, y la composición determinada está sustancialmente libre de germanio e incluye flúor en el revestimiento de la lente de fibra GRIN.

15. El método según la reivindicación 13, en el que el intervalo de longitudes de onda seleccionado es de aproximadamente 405 nm a aproximadamente 800 nm y la etapa de determinar el perfil de composiciones comprende determinar un intervalo de composiciones tal que las longitudes de medio paso para 405 nm y 800 nm son sustancialmente las mismas.

15

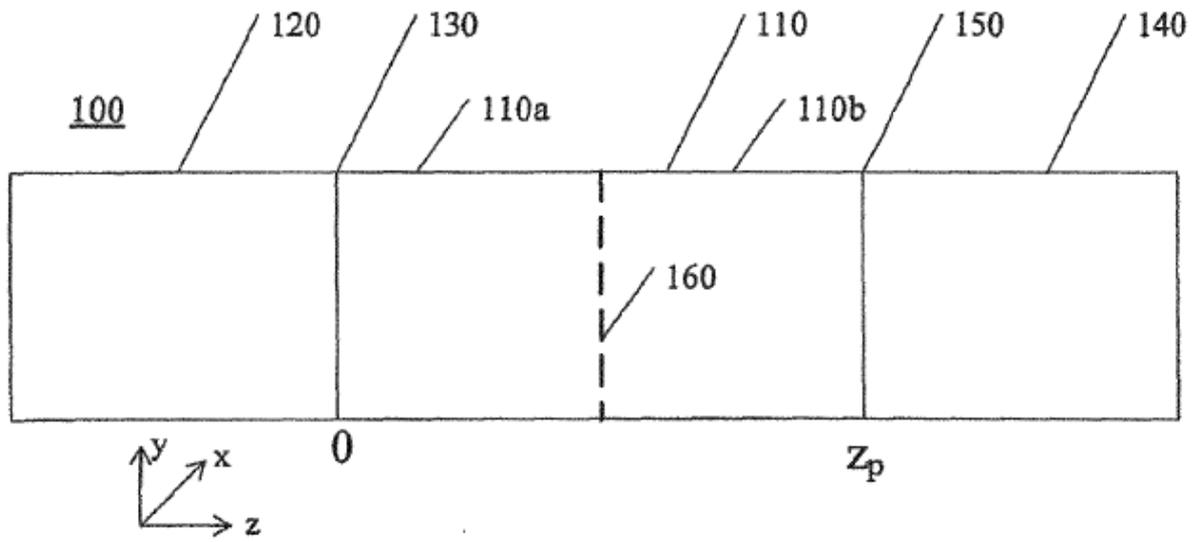


Fig. 1

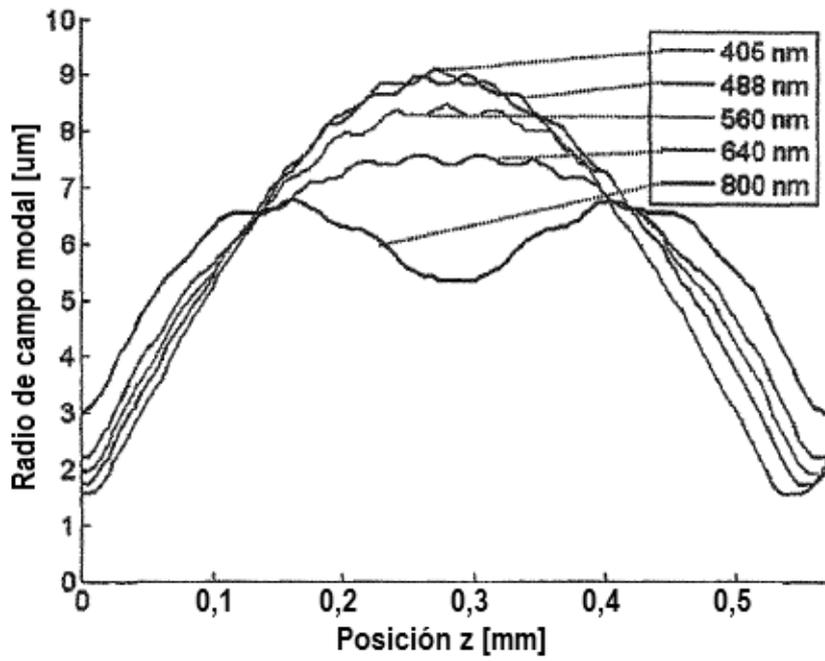


Fig. 2(a)

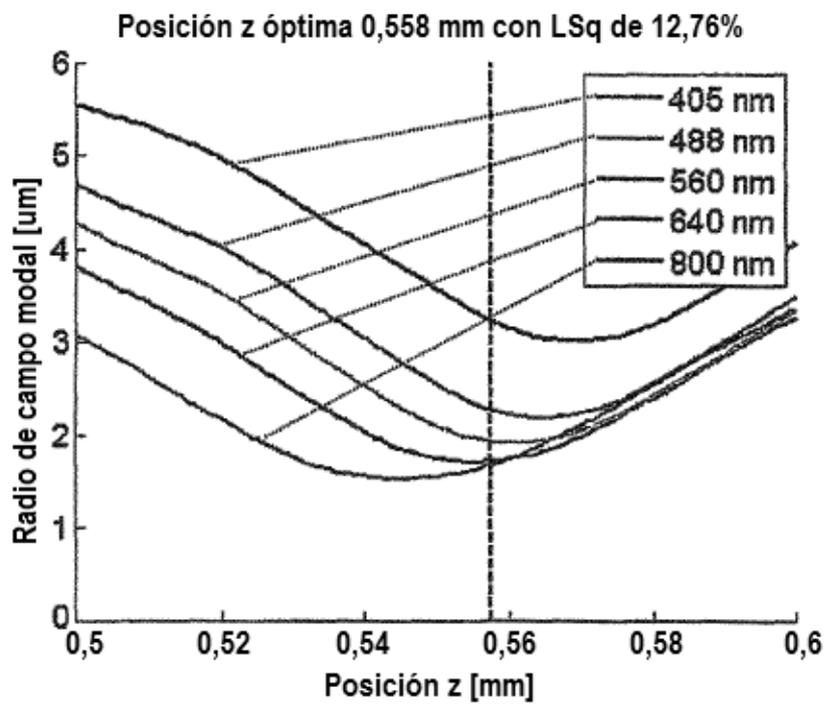


Fig. 2(b)

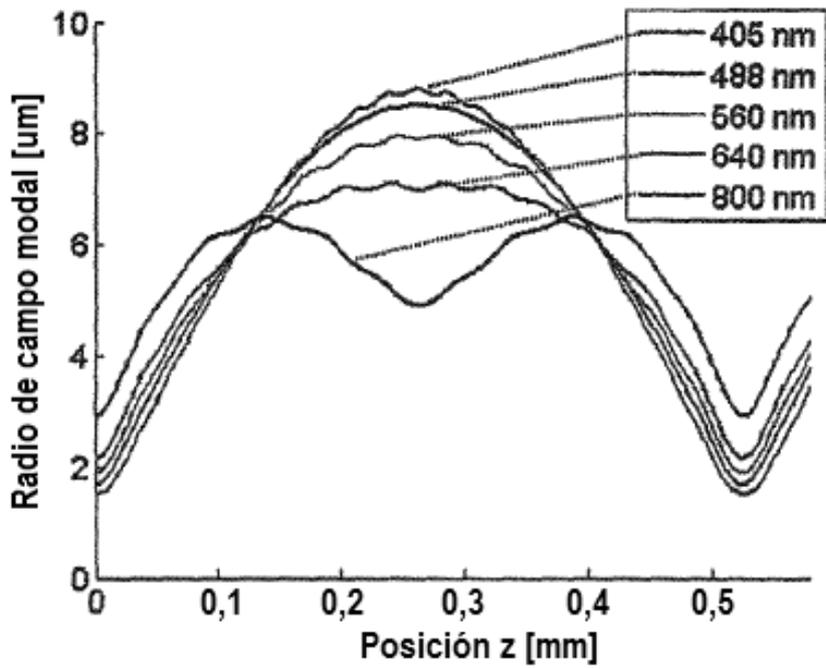


Fig. 3(a)

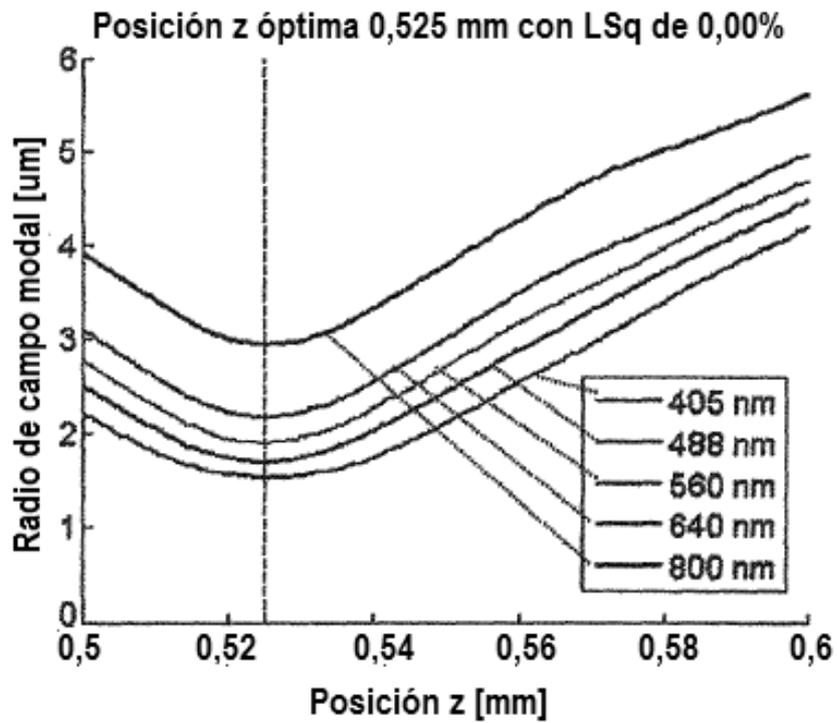


Fig. 3(b)

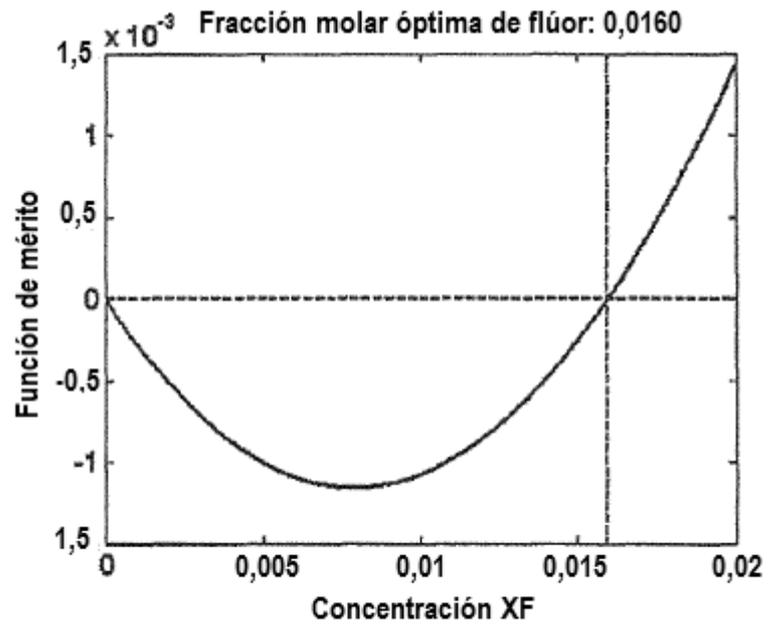


Fig. 4

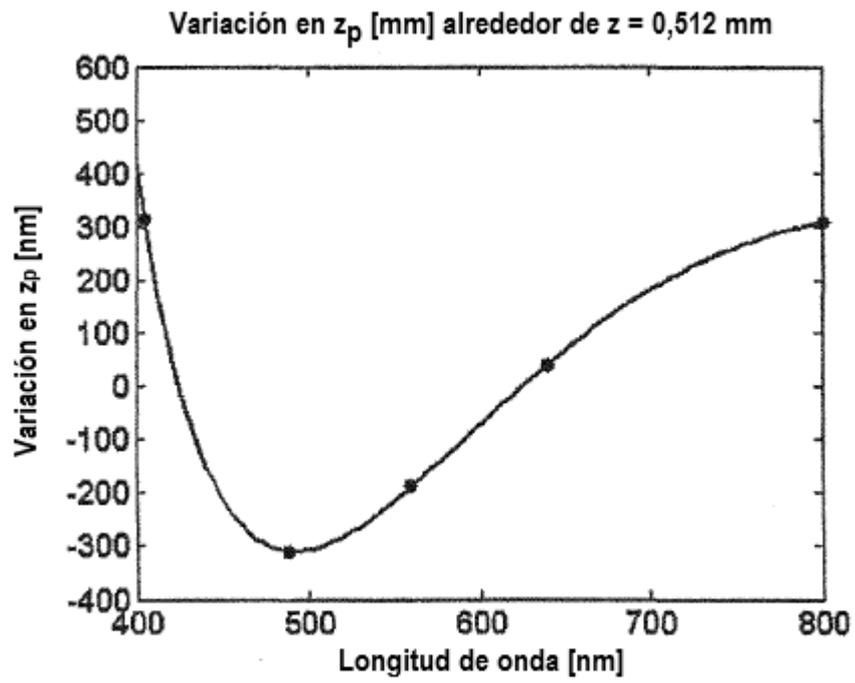


Fig. 5

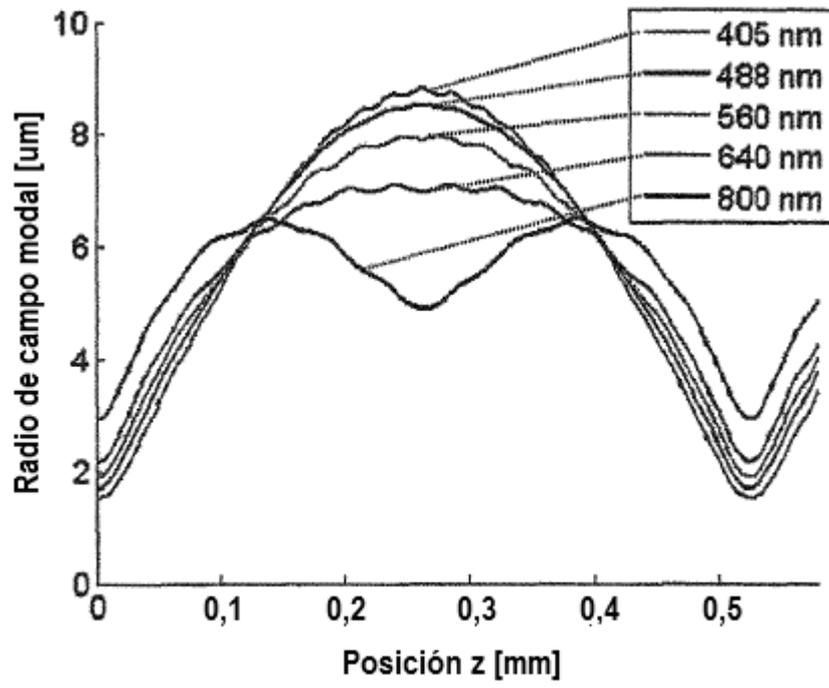


Fig. 6

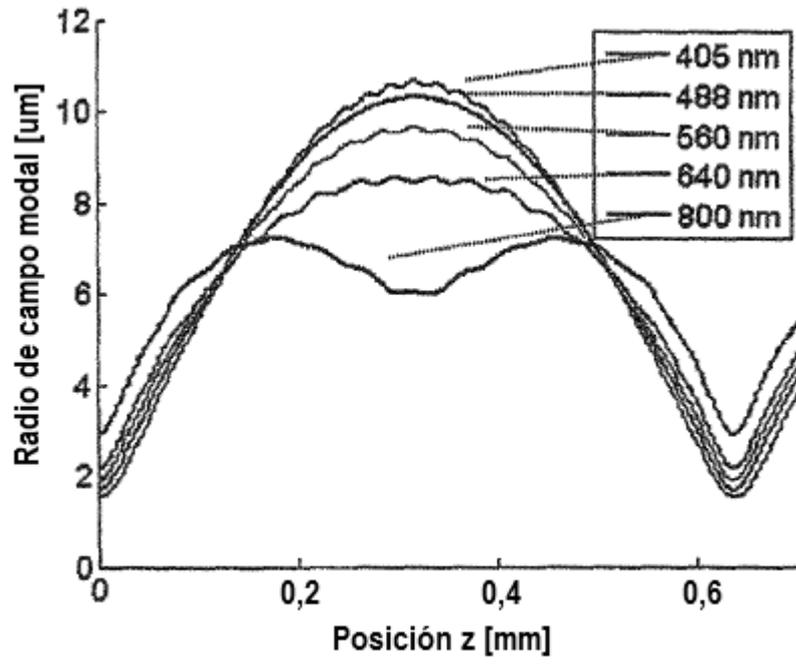


Fig. 7

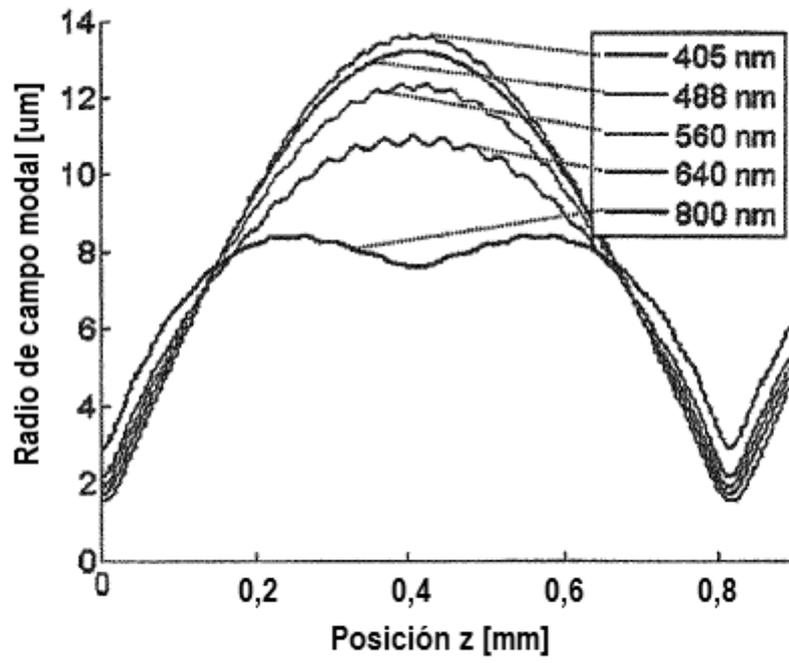


Fig. 8

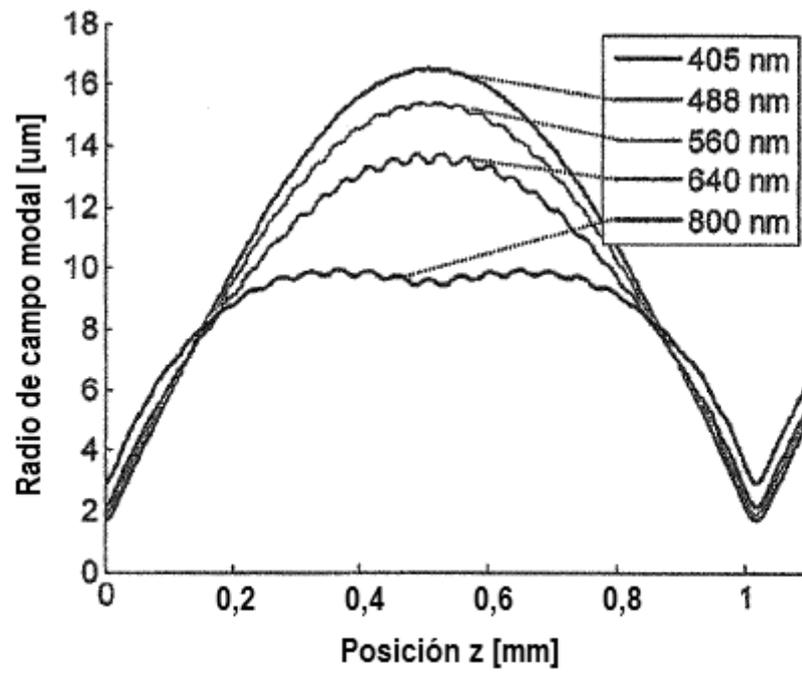


Fig. 9

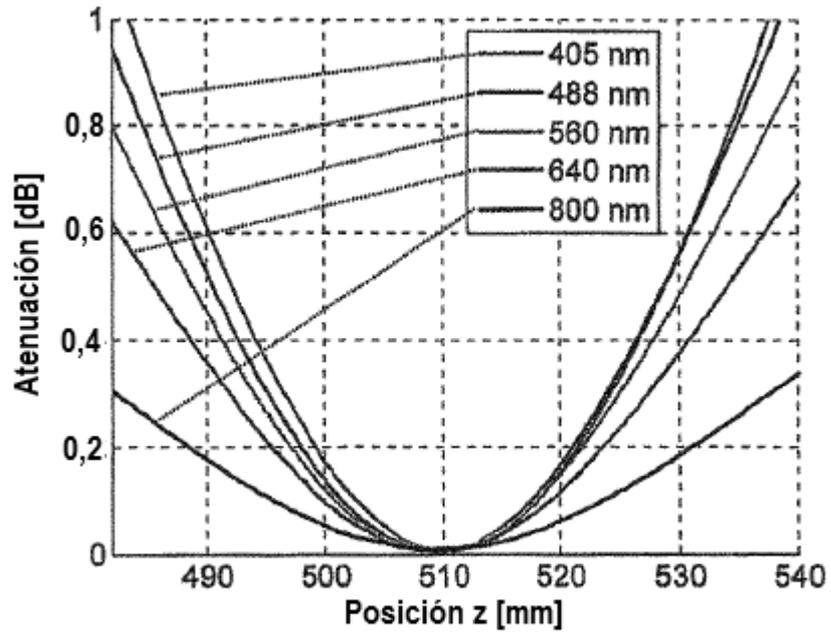


Fig. 10

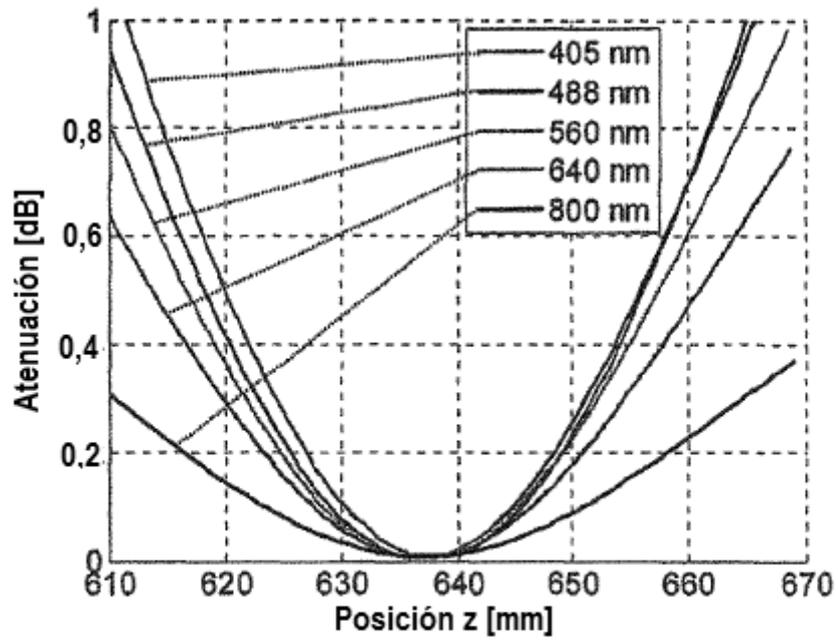


Fig. 11

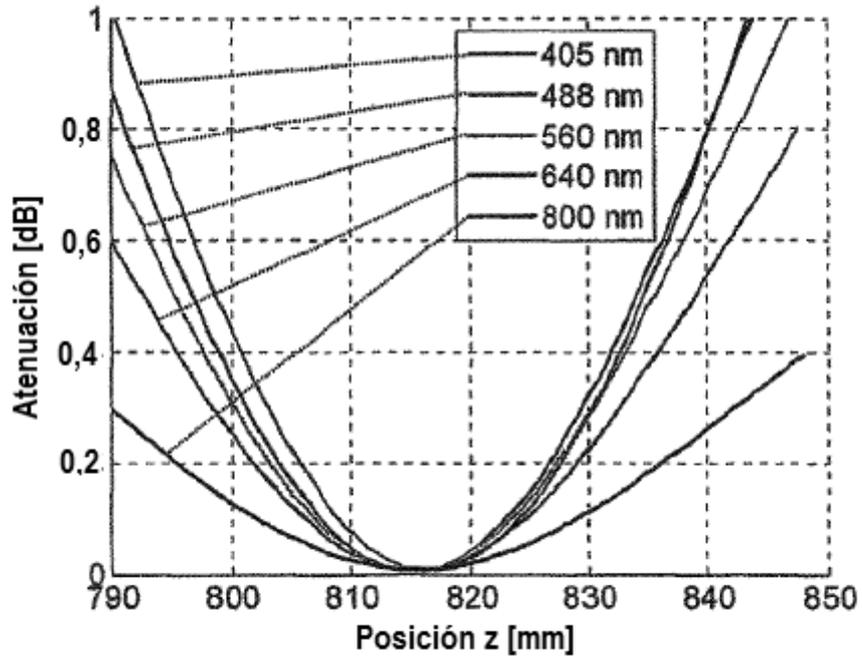


Fig. 12

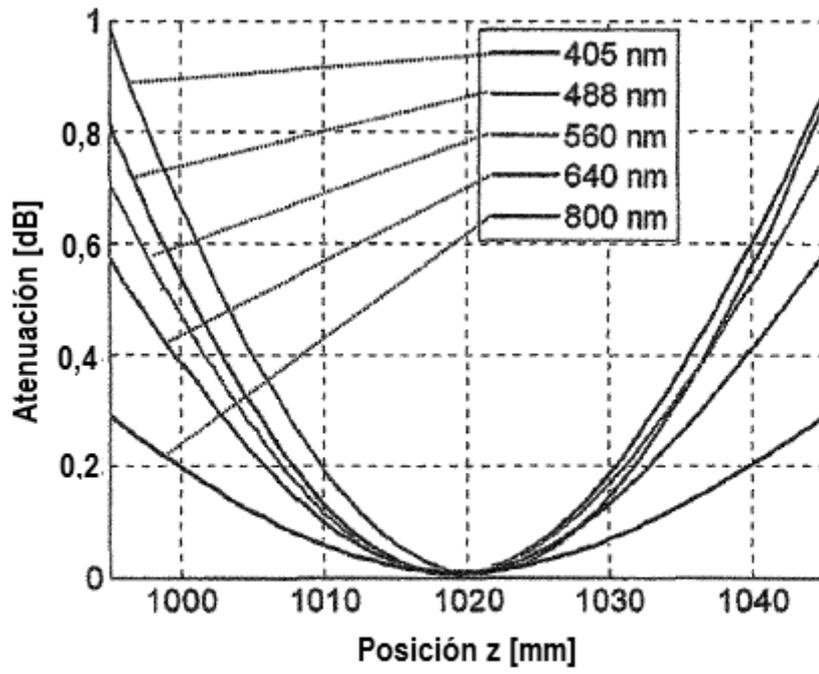


Fig. 13