

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

(10) ES	(11) NUMERO	(10) A1
(31)	478.250	
(32)	FECHA DE PRESENTACION	
	2-Marzo-1.979	

PATENTE DE INVENCION

(50) PRIORIDADES:	(52) FECHA	(53) PAIS	
(51) NUMERO			
883.214	3-3-78	E.U.A.	

(67) FECHA DE PUBLICIDAD	(61) CLASIFICACION INTERNACIONAL	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	H 01P 3/20	

(64) TITULO DE LA INVENCION	
"UN DISPOSITIVO GUIA-ONDAS OPTICO"	

(71) SOLICITANTE (ES)	
CORNING GLASS WORKS	(OLP 2647)

DOMICILIO DEL SOLICITANTE	
Moughton Park, Corning, Nueva York 14830, Estados Unidos de América	

(72) INVENTOR (ES)	
DR. ROBERT OLSHANSKY	

(73) TITULAR (ES)	

(74) REPRESENTANTE	
DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ	(P.-71.253)

MCS/.

1

FUNDAMENTOS DEL INVENTO

5

Este invento se refiere a una guía de ondas ópticas, que tiene un núcleo con un perfil de índices de refracción graduados radialmente, y un revestimiento que rodea al núcleo. En esta memoria se describen también métodos de producir dichas guías de onda.

10

15

20

25

30

La propagación de ondas luminosas en guías de ondas ópticas está gobernada por leyes físicas similares a las que gobiernan la propagación de microondas, y por consiguiente puede ser estudiada en términos de modos, cada uno de los cuales tiene sus propias características de propagación y de campo electromagnético. Las guías de ondas de modo único son ventajosas por el hecho de que son capaces de propagar señales ópticas con muy baja dispersión, pero debido a la baja apertura numérica y/o al pequeño tamaño de los núcleos de dichas fibras, es difícil inyectar eficazmente señales ópticas dentro de estas guías de ondas. Las guías de ondas de modos múltiples tienen diámetros de núcleos mayores y/o aperturas numéricas mayores que las guías de ondas de un único modo. Las guías de ondas de modos múltiples son con frecuencia, por lo tanto, el medio preferido para la transmisión de señales ópticas ya que pueden recibir eficazmente luz procedente de láseres de inyección y manantiales de amplia anchura espectral, incoherentes tales como diodos emisores de luz. No obstante, miles de modos se propagan en guías de ondas ópticas de modos múltiples, desplazándose cada modo a una velocidad de grupo ligeramente diferente. Un corto impulso de entrada que es compartido por muchos modos guiados se disocia de este modo en una secuencia de impulsos que llegan al extremo de salida de la guía de ondas en diferentes momen

1 -tos. Este tipo de dispersión de impulsos es la causa domi-
nante de dispersión en típicas guías de ondas ópticas de mo-
dos múltiples.

5 Las guías de ondas ópticas consistían inicialmente
en una fibra con un núcleo de índice de refracción uniforme,
rodeada por una capa de material de revestimiento que tenía
un índice de refracción menor que el del núcleo. En este ti-
po de fibras de la técnica anterior, el tiempo requerido pa-
ra que los diversos modos se desplacen en una distancia lon-
10 gitudinal establecida a lo largo de la guía de ondas aumen-
ta según aumenta el orden del modo. La deformación de retar-
do en tal fibra, definida como la diferencia en el tiempo
que necesita el modo más rápido y el modo más lento para
atravesar una longitud establecida en sentido longitudinal,
15 es muy grande.

Han sido creadas guías de ondas ópticas que tienen
núcleos con perfiles de índices graduados radialmente y és-
tas manifiestan una dispersión de impulsos importantemente
reducida, que resulta de diferencias de velocidades de grupo
20 entre modos. Este efecto reductor de la dispersión, que es
discutido y tratado en la publicación de D. Gloge y otros,
de título "Multimode Theory of Graded-Core Fibers", (Teoría
de modos múltiples de fibras de núcleo graduado) publicada
en Noviembre de 1973 aparecida en el Bell System Technical
25 Journal, páginas 1563-1578, emplea un perfil de índice con-
tinuo, graduado radialmente, desde un valor máximo en el cen-
tro del núcleo hasta un valor mínimo junto a la superficie
de contacto entre núcleo y revestimiento. La distribución de
índices en este tipo de guías de ondas está dada por la ecua-
30 ción

$$1 \quad n(r) = n_c \left[1 - 2\Delta(r/a)^\alpha \right]^{1/2} \text{ para } r \leq a$$

en donde n_c es el índice de refracción en el centro del núcleo, n_0 es el índice de refracción del núcleo de fibra en radio a , $\Delta = (n_c^2 - n_0^2)/2n_c^2$ y a es el radio del núcleo.

5 Se pensaba inicialmente que el perfil parabólico en donde α es igual a 2 proporcionaría un gradiente de índices que haría mínima la dispersión provocada por diferencias de velocidades de grupo entre los modos.

10 La antes mencionada publicación de Gloge y otros describe un perfeccionamiento adicional, en que se asegura obtener una reducción en la dispersión de impulsos si, en lugar de que α sea igual a 2, ésta es igual a $2-2\Delta$. No obstante, la teoría que concierne a los gradientes de índices, en donde α es igual a 2 ó a $2-2\Delta$, desprecia efectos introducidos por diferencias entre las propiedades de dispersión del núcleo y las composiciones de los revestimientos.

15 La patente de los Estados Unidos número 3.904.268 de los presentes solicitantes describe una guía de ondas óptica de índice en gradiente, en que son reducidas las propiedades dispersivas del núcleo y del revestimiento. Esta
20 patente enseña que la guía de ondas óptica con índice en gradiente, que tiene mínimas diferencias de retardo entre los modos, posee un perfil de índices dado por

$$n^2(r) = n_c^2 \left[1 - 2\Delta(r/a)^\alpha \right] \quad r \leq a$$

25 en donde

$$\alpha \cong 2 - \frac{2n_c}{N_c} \frac{\lambda_0 d\Delta/d\lambda_0}{\Delta} = \frac{12\Delta}{5}$$

n_c es el índice de refracción en el centro del núcleo, n_0 es el índice de refracción del núcleo con $r = a$, $\Delta =$

30 $(n_c^2 - n_0^2)/2n_c^2$ y $N_c = n_c - \lambda_0 dn_c/d\lambda_0$.

1 La enseñanza de esta patente de los Estados Unidos
3.904.268 es válida independientemente de la composición del
vidrio que se utilice, con tal que el índice de refracción
del núcleo esté dentro de la precedente relación a lo largo
5 del margen espectral por el que funciona el manantial. La
técnica de la patente es aplicable a todas las composiciones
formadoras de vidrio binarias o multicomponentes.

El artículo "Profile Synthesis in Multicomponent
Glass, Optical Fibers" (Síntesis de perfiles en fibras ópti-
cas de vidrio de componentes múltiples) de Kaminow y Presby,
10 Applied Optics 16 de enero de 1977, y la patente de los Es-
tados Unidos 4.025.156 de Gloge y Presby muestran que median-
te selección apropiada de la composición del vidrio, se pue-
de sintetizar una guía de ondas ópticas con dispersión hecha
15 mínima a lo largo de un margen de longitudes de ondas o con
dos o más longitudes de ondas distintas.

La patente de los Estados Unidos 4.033.667, de Fle-
ming, se relaciona con las enseñanzas de Kaminow, Presby y
Gloge, al enseñar el modo en que una composición particular
20 puede tener un perfil de índices uniforme a lo largo de un
cierto margen de longitudes de onda.

Tal como resulta evidente de los ejemplos citados
en el artículo de Kaminow y Presby, la patente de Gloge y
Presby y la patente de Fleming, sus inventos se aplican sólo
25 a ciertas composiciones limitadas. La figura 1, en la publi-
cación de Kaminow-Presby, muestra que la concentración de
 P_2O_5 con $r = 0$ debe ser 11,5 veces mayor que la concentración
de GeO_2 con $r = a$, con el fin de lograr una reducida dispersión
de impulsos a lo largo de un extenso margen de longitudes
30 de ondas. Aunque es favorable desde el punto de vista de la

1 dispersión, esta composición es indeseable desde el punto
de vista de la viscosidad, la expansión térmica, la durabi-
lidad química y la apertura numérica.

5 Las mismas restricciones acerca de la composición
son impuestas por las enseñanzas de Gloge y Presby. En su
ejemplo, éstos encuentran que la concentración de GeO_2 con
 $r = 0$ debe ser ocho veces menor que la concentración de
 B_2O_3 con $r = a$. Esta restricción acerca de la composición
10 hace imposible diseñar una fibra óptica con otras importan-
tes propiedades tales como alta apertura numérica, buena ex-
pansión térmica y adaptaciones de viscosidad a lo largo del
diámetro de la fibra.

La dependencia con la longitud de onda de la disper-
sión de impulsos de guías de ondas ópticas es una considera-
15 ción importante. Una guía de ondas que proporciona baja dis-
persión de impulsos con diversas longitudes de onda diferen-
tes o a lo largo de un margen de longitudes de ondas es su-
perior a uno que proporciona baja dispersión en o cerca de
una única longitud de onda. En el invento de la patente de
20 los Estados Unidos 3.904.268, en general, la guía de ondas
tiene dispersión mínima en o cerca de una única longitud de
ondas. Escogiendo la forma de perfil de la guía de ondas
de acuerdo con la patente de los Estados Unidos 3.904.268,
se puede obtener una dispersión mínima con cualquier longi-
25 tud de ondas única escogida. No obstante, tal como se mues-
tra en la figura 4 de esta solicitud, con otras longitudes
de ondas, la dispersión es considerablemente mayor.

Tomando en consideración lo que antecede, el presen-
te invento evita las severas restricciones sobre la composi-
30 ción que se requieren para practicar la patente de Globe y

1 Presby. También proporciona mejora con respecto a la patente
de los Estados Unidos 3.904.268 por el hecho de que se pro-
porciona una guía de ondas óptica de índice graduado, que
5 tiene una baja dispersión a lo largo de un margen de longi-
tudes de ondas o con dos o más longitudes de ondas diferen-
tes, la cual guía de ondas puede ser fabricada a partir de
un amplio margen de composiciones posibles.

Más particularmente y de acuerdo con el invento se
crea una guía de ondas óptica que tiene un núcleo con un per-
10 fil de índices de refracción graduado radialmente, y un re-
vestimiento que rodea al núcleo, caracterizada porque la guía
de ondas comprende al menos tres composiciones formadoras
de vidrio y porque dicho perfil de índices de refracción cam-
bia como una función del radio r , substancialmente como:

15

$$n^2(r) = n_c^2 \left[1 - \sum_{i=1}^N \Delta_i (r/a)^{\alpha_i} \right]$$

en donde $N \geq 2$ es el número de términos del perfil de índices
de tipo α

20

n_c es el índice de refracción con $r = 0$

n_o es el índice de refracción con $r = a$.

$$\Delta = (n_c^2 - n_o^2) / 2n_c^2$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^N \Delta_i$$

25

y Δ_i y α_i son valores que producen dispersión de impulsos
reducida.

Los valores α_i están dados preferiblemente por

$$\alpha_i = 2 - \frac{2n_c}{N_c} \frac{\lambda}{\Delta_i} \frac{d\Delta_i}{d\lambda} - \frac{12\Delta}{5}, \quad i = 1 \dots N,$$

30

en donde λ es una longitud de onda con la que se utilizará

1 dicha guía de ondas y

$$N_c = n_c - \frac{\lambda dn_c}{d \lambda} .$$

La utilidad del presente invento resultará inmediatamente evidente si se considera el hecho de que es muy costoso el instalar cables de comunicaciones. El costo de las guías de ondas ópticas es bastante pequeño en comparación con este costo de instalación. Los cables instalados pueden tener guías de ondas del estado conocido de la técnica, que tengan una mínima dispersión de impulsos con la longitud de onda de los manantiales que se utilizan actualmente, típicamente alrededor de 0,85 micras. En el futuro, se pueden desarrollar manantiales que sean más eficaces con otras longitudes de ondas. Sería muy deseable utilizar guías de ondas, del tipo que se describe seguidamente de modo más completo, en cables que actualmente son instalados, que sean capaces de funcionar a lo largo de un margen de longitudes de ondas o dos o más longitudes de ondas diferentes, con baja dispersión. De esta manera se evita el costo de la instalación futura de cables con guías de ondas capaces de funcionar con una longitud de ondas diferente.

Otras características, ventajas y objetos del invento se comprenderán mejor a partir de la siguiente descripción tomada en unión de los siguientes dibujos acompañantes anejos.

25

DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra un segmento de la guía de ondas de este invento;

La figura 2 describe su utilización en un sistema óptico de comunicaciones;

30

La figura 3 describe un método de fabricar la guía

1 de ondas;

La figura 4 muestra la curva C1 que describe la dispersión de impulsos en función de la longitud de onda para un perfil convencional de índices de refracción, y la curva C2 que describe la dispersión de impulsos mejorada en función de la longitud de onda para una forma preferida de realización de este invento;

La figura 5 muestra la curva A0 que muestra el modo en que cambia la α óptima como una función de λ para el perfil de α única; las curvas A1 y A2 muestran $\alpha_1(\lambda)$ y $\alpha_2(\lambda)$ para una forma preferida de realización del invento; tanto A1 como A2 tienen una pendiente nula con $0,85 \mu\text{m}$.

La figura 6 muestra curvas B1 y G1 que muestran los perfiles de concentraciones de B_2O_3 y GeO_2 para el perfil de α única diseñado para dispersión mínima con $0,85 \mu\text{m}$; las curvas B2 y G2 muestran el perfil de concentraciones de B_2O_3 y GeO_2 para una forma preferida de realización del perfil de α doble diseñado para $d\alpha_1/d\lambda=0$ a $0,85 \mu\text{m}$; y

La figura 7 muestra la curva C3 que describe la dispersión de impulsos en función de la longitud de onda para una forma preferida de realización del presente invento. Se logra una baja dispersión de impulsos con dos longitudes de onda separadas.

DESCRIPCION DE LA FORMA PREFERIDA DE REALIZACION

Una guía de ondas 11 tiene un núcleo 12 y un revestimiento 13. El índice de refracción del revestimiento 13 es menor que el del núcleo 12. El núcleo 12 tiene un índice de refracción en gradiente que varía desde n_c en el centro del núcleo hasta n_0 con el radio a . De acuerdo con el presente invento el gradiente es formado a base de al menos dos térmi

1 nos de perfiles de índices que hacen mínima la dispersión
de impulsos a lo largo de un margen de longitudes de ondas
o con longitudes de ondas seleccionadas.

5 Esta guía de ondas es acoplada en un sistema de co-
municaciones ópticas descrito en la figura 2 en que un trans-
misor 14 incluye un manantial que produce impulsos de luz
que tiene una longitud de ondas media λ . Un receptor situa-
do junto al extremo de salida de la guía de ondas recibe luz
10 desde la guía de ondas 11 y responde a esta luz. Es desea-
ble hacer mínima la dispersión de impulsos entre el transmi-
sor 14 y el receptor 14. Además, es deseable hacer mínima
la dispersión a lo largo de un margen de longitudes de ondas
o con diferentes longitudes de ondas.

15 De acuerdo con este invento, el núcleo 11 está he-
cho de vidrio multicomponentes, tal como vidrio de óxido de
germanio, silicato y borosilicato. Cada una de estas compo-
siciones binarias tiene una concentración que varía radial-
mente de acuerdo con un diferente perfil de concentraciones.

20 Utilizando el ejemplo de estas composiciones, n_c de-
signa el índice de refracción del vidrio de óxido de germa-
nio-silicato con $r = 0$ y n_a designa el índice de refracción
del vidrio de borosilicato con $r = a$.

25 De acuerdo con este invento, se hace mínima la dis-
persión de impulsos en guías de ondas fabricadas a partir de
dicho vidrio multicomponente si el índice de refracción del
núcleo varía como una función de la distancia radial desde
el centro del núcleo, de acuerdo con:

$$(1) \quad n^2(r) = n_c^2 \left[1 - \sum_{i=1}^N 2 \Delta_i (r/a)^{\alpha_i} \right]$$

en donde α_i son perfiles de índices definidos por

$$(2) \alpha_i = 2 - \frac{2n_c}{N_c} \frac{\lambda}{\Delta_i} \frac{d\Delta_i}{d\lambda} - \frac{12}{5} \Delta \quad i = 1 \dots N \text{ en donde}$$

$$N \geq 2 \text{ y } N_c = n_c - \lambda \frac{dn_c}{d\lambda}.$$

$$\Delta = (n_c^2 - n_o^2) / 2n_c^2 \text{ y } \Delta = \sum_{i=1}^N \Delta_i.$$

5

Los valores de n_c , $dn_c/d\lambda$, n_o , Δ_i y $d\Delta_i/d\lambda$, que se necesitan para producir una guía de ondas que tenga los deseados perfiles de índices, se pueden obtener realizando un ajuste de Sellmeier en mediciones de índices de refracción tomadas con diferentes longitudes de ondas para composiciones de vidrio utilizadas como materiales de núcleo y de revestimiento.

Algunas técnicas para medir perfiles de índices de refracción de guías de ondas ópticas se describen en las publicaciones "Viewing Refractive-Index Profiles and Small-Scale Inhomogeneities in Glass Optical Fibers: Some Techniques" por C. A. Burrus y otros, Applied Optics, Octubre 1974, volumen 13, número 10, páginas 2365-2369 y "Refractive Index Profile Measurements of Diffused Optical Waveguides" por W. E. Martín, Applied Optics, Septiembre, 1974, volumen 13, Nº 9, páginas 2112-2216 y en el artículo número 3.5 titulado "Interferometric Measurement of SELFOC Dielectric Constant Coefficients to Sixth Order" de E. G. Rawson y otros., 1973, IEEE/OSA Conference on Laser Engineering and Applications, 30 de Mayo-1 de Junio de 1973, del que se puede encontrar una breve descripción en las páginas 22-23 del Digest of Technical Papers, presentado en esa conferencia.

TEORIA. El siguiente análisis teórico que muestra que la dispersión de impulsos es hecha mínima, se basa en el análisis de Marcatili in Bell Systems Technical Journal 56,

30

1 49 (1977). En el siguiente análisis se considerará la clase de perfiles de índices

$$(3) \quad n^2(r) = N_c^2 [1 - F(r)] \quad r \leq a$$

5

$$(4) \quad F(r) = \sum_{i=1}^N 2\Delta_i (r/a)^{\alpha_i} \quad r \leq a$$

en donde N es un número entero positivo. En la memoria descriptiva de la patente de los Estados Unidos número 3.904.268

10 N es igual a 1 mientras que en la presente solicitud N es igual o mayor que 2. Marcatili muestra que el tiempo de retardo del modo μ, ν está dado por

$$(5) \quad \tau_{\mu\nu} = T(1 - B_{\mu\nu}/D) / (1 - B_{\mu\nu})^{1/2}$$

en donde

$$(6) \quad T = L N_c / C$$

15

$$(7) \quad N_c = n_c - \lambda \frac{dn_c}{d\lambda}$$

$$(8) \quad D = \left(1 + \frac{r}{2F} \frac{\partial F}{\partial r}\right) / \left(1 - \frac{1}{2} \frac{n_c}{N_c} \frac{\lambda \partial F}{F \partial \lambda}\right)$$

$$(9) \quad B_{\mu\nu} = (k^2 n_c^2 - B_{\mu\nu}^2) / (k^2 n_c^2) \text{ en donde } k = 2\pi/\lambda, L \text{ es la longitud de fibra y } C \text{ es la velocidad de la luz.}$$

20 Dado que B es una pequeña cantidad de orden

$$\Delta = \sum_{i=1}^N \Delta_i, \text{ hasta orden } \Delta^2$$

$$(10) \quad \tau_{\mu\nu} = T \left[1 - B_{\mu\nu}/D + B_{\mu\nu}/2 + \left(3/8 - \frac{1}{2D}\right) B_{\mu\nu}^2 \right]$$

25 Si $D = 2 - 6/5\Delta$, la raíz cuadrada de la media de las diferencias de retardo entre los modos es hecha mínima para $N = 1$, de acuerdo con la memoria descriptiva de la patente de los Estados Unidos 3.904.268 y es reducida igualmente para $N \geq 2$, de acuerdo con las enseñanzas de esta solicitud.

30 La ecuación (8) puede ser escrita como una ecuación

1 diferencia parcial

$$(11) \quad r \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{\mu n_c}{N_c} \lambda \frac{\partial F}{\partial \lambda} + 2(1-D)F = 0.$$

5 Para la clase de perfiles que se describen en la patente de los Estados Unidos 3.904.268 ($N = 1$), la ecuación (11) tiene la solución

$$(12) \quad \alpha = 2 - \frac{2n_c}{N_c} \frac{\lambda}{\Delta} \frac{d\Delta}{d\lambda} - \frac{12}{5} \Delta.$$

10 Para perfiles dados por la expresión más general de las ecuaciones (3)-(4), los presentes inventores han encontrado que existen nuevas soluciones para la ecuación (11) si

$$(13) \quad \alpha_i = 2 - \frac{2n_c}{N_c} \frac{\lambda}{\Delta_i} \frac{d\Delta_i}{d\lambda} - \frac{12}{5} \Delta_i \quad i = 1 \dots N.$$

15 Así, fibras ópticas de vidrios multicomponentes pueden tener hecha mínima su dispersión de impulsos también por el perfil de las ecuaciones (1)-(2).

20 En el análisis que antecede, obsérvese que el término $\frac{\Delta(4+y)}{(5+2y)} \frac{(3+y)}{(5+2y)}$ dado en la patente de los Estados Unidos 3.904.268 ha sido simplificado a $-\frac{12}{5} \Delta$. Es decir, se ha supuesto que $|y| < 1$ que es una suposición válida para la mayor parte de los casos.

25 La condición deseable de mínima dispersión a lo largo de un margen de longitudes de ondas puede obtenerse para el perfil óptimo de índices de este invento. Esto impone la condición de que:

$$(14) \quad \left. \frac{d\alpha_i}{d\lambda} \right|_{\lambda = \lambda_0} = 0 \quad \text{para } i = 1 \dots N.$$

30

05079

1 Si la α_i tiene derivada nula, la dispersión mínima de impulsos se obtiene a lo largo de una banda más ancha de longitudes de ondas.

5 Una condición alternativa, que es deseable para ciertas aplicaciones, es que se obtenga una mínima dispersión con dos (o más) longitudes de ondas diferentes.

$$(15) \alpha_i(\lambda_1) = \alpha_i(\lambda_2) \quad i = 1 \dots N.$$

Ejemplo 1

10 Como primer ejemplo, considérese una guía de ondas óptica de modos múltiples que consiste en un núcleo de sílice de fusión impurificado en el centro con 7,9% en moles de GeO_2 e impurificado en $r = a$ con 13,5% en moles de B_2O_3 . Las mediciones de los índices de refracción de los vidrios de óxido de germanio-sílice se pueden encontrar en la publicación de S. Kobayashi, S. Shibata, N. Shibata y T. Izawa que aparece en el resumen de la Conferencia Internacional de 15 1977 sobre Comunicaciones Ópticas Integradas y Fibras Ópticas que se celebró en Tokio, Japón. Los índices de refracción de los vidrios de borosilicato se pueden encontrar en la publicación de J. W. Fleming que apareció en el Journal of The American Ceramic Society 59, 503-507 (1976).

20 Los datos de índices de refracción a que arriba se hizo mención se midieron en muestras a granel de vidrio. El índice de refracción de una fibra de guía de ondas óptica puede ser substancialmente diferente del índice de refracción de una muestra a granel debido a los efectos de enfriamiento rápido, bien conocidos, que se producen durante el estiramiento de las fibras. Todos los índices de refracción a que se hace mención en esta solicitud se refieren al índice de refracción real de una fibra óptica. Los datos de índices de

25

30

1 refracción basados en las mediciones de muestras a granel
se utilizan únicamente con el fin de ilustrar la práctica
de este invento.

5 A partir de los apropiados ajustes de Sellmeier se
puede encontrar que con una longitud de onda λ de 0,85 mi-
cras, n_c es igual a 1,46493, n_o es igual a 1,45071, y Δ es
igual a 0,00966.

10 Utilizando el perfil único de la técnica anterior
de la patente de los Estados Unidos 3.904.268 para hacer mí-
nima la dispersión de impulsos a 0,85 micras, el valor α es
igual a 1,957. La raíz cuadrada de la media de impulsos que
se propagan en nanosegundos/kilómetro (ns/km) para esta guía
de ondas está mostrada por C1 como una función de λ en la
figura 4. Una mínima dispersión de impulsos de 0,013 ns/km
15 se logra con 0,85 μ m.

En una posible forma de realización de este inven-
to, se escogen Δ_1 y Δ_2 de manera tal que

$$\Delta_1 = (n_c^2 - n_s^2) / 2n_c^2$$

20
$$\Delta_2 = (n_s^2 - n_o^2) / 2n_c^2$$

en donde n_s es el índice de refracción de la sílice de fusión.
 n_s puede calcularse a partir del ajuste de Sellmeier infor-
mado por I. H. Malitson en el Journal of the Optical Society
of America, 55, 1205 (1965). Con 0,85 μ m, n_s es igual a
25 1,45250. Para este ejemplo Δ_1 es igual a 0,00845 y Δ_2 es
igual a 0,00121. Utilizando también ajustes de Sellmeier se
obtienen los valores

$$\lambda \frac{dn_c}{d\lambda} = - 0,01397; \quad \lambda \frac{d\Delta_1}{d\lambda} = - 0,423 \times 10^{-3}, \text{ y}$$

30
$$\lambda \frac{d\Delta_2}{d\lambda} = + 0,522 \times 10^{-3}$$

1 utilizando estos valores en la ecuación (1), se obtienen va-
lores de $\alpha_1 = 2,076$ y $\alpha_2 = 1,121$ que hacen mínimo de modo apro-
simado la dispersión de impulsos a $0,85 \mu\text{m}$.

5 Después de que se han determinado los valores ópti-
mos de α_1 , el gradiente de índices de refracción del núcleo
es especificado por la ecuación (1). Una guía de ondas ópti-
ca que satisface la ecuación (1) puede ser formada entonces
de acuerdo con uno de los métodos descritos, por ejemplo,
10 en las patentes de los Estados Unidos números 3.823.995 y
3.826.560.

En general, cuando el índice de refracción varía
linealmente con la concentración de agente impurificante,
los perfiles de concentraciones $C_j(r)$ de P composiciones fon-
madoras de vidrio varían substancialmente como:

$$15 \quad C_j(r) = C_{j0} + \sum_{i=1}^N C_{ji} (r/a)^{\alpha_i}$$

$$j = 1, \dots, P$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$p \geq 3 \quad N \geq 2$$

20 en donde los coeficientes C_{ij} y las α_j se escogen para dar
una reducida dispersión de impulsos de acuerdo con la consi-
deración aquí descrita, y en que las concentraciones son ex-
presadas como fracciones molares, fracciones ponderales,
fracciones atómicas u cualquier otra medida de concentracio-
25 nes.

Independientemente del método de fabricación, es
improbable que se pueda formar una guía de ondas óptica de
índices graduados, en donde α sea precisamente igual a un
valor previamente determinado. No obstante, es posible fabri-
30 car guías de ondas en donde el perfil de índices se aproxima

1 al perfil óptimo obtenido por las ecuaciones (1) y (2), y
 lograr todavía una importante reducción en la dispersión de
 impulsos. Estas técnicas son adaptadas a la fabricación de
 guías de ondas de vidrios multicomponentes de la manera des-
 5 crita en la figura 3, que subsiguientemente se va a descri-
 bir.

En los siguientes ejemplos 2 y 3, se muestra el mo-
 do en que se pueden ejecutar formar preferidas de realización
 del invento, representadas por la ecuación (14) o la ecuación
 10 (15). Por razones de simplicidad, se supone en estos ejemplos
 que el número del perfil de índices tipo κ en la ecuación
 (1) es igual a 2, es decir $N = 2$.

En estos ejemplos, se definen dos cantidades que
 representan respectivamente el cambio de índice de refracción
 15 de sílice de fusión provocada por la introducción de óxido
 de germanio y el cambio causado por la introducción de óxido
 de boro. Estas dos cantidades son:

$$(16a) \quad \delta_G = n_c^2 - n_s^2$$

$$(16b) \quad \delta_B = n_s^2 - n_0^2$$

20 en donde n_s es el índice de refracción de sílice de fusión.
 Estas dos cantidades δ_G y δ_B son relacionadas con cantidades
 que corresponden a Δ_1 y Δ_2 en el ejemplo precedente. Se
 definen dos términos adicionales:

$$(17a) \quad \delta_i = \lambda \frac{d\delta_i}{d\lambda} \quad i = G, B$$

25

$$\delta_{,,} = \frac{d^2\delta_i}{d\lambda^2} \quad i = G, B.$$

El índice de refracción de la sílice de fusión, n_s ,
 puede ser calculado a partir del ajuste de Sellmeier deter-
 minado por I. H. Malitson, J. Opt. Soc. Amer. 55, 1205 (1965).

30 En este ejemplo n_c es tomado nuevamente como el índice de

1 refracción de sílice impurificada con 7,9% en moles de GeO_2
 y n_o es el índice de refracción de sílice impurificada con
 13,5% en moles de B_2O_3 . Otras tres cantidades adicionales
 son definidas por:

5 (18)
$$Z = \frac{\lambda}{n_c^2} \frac{dn_c^2}{d\lambda}$$

(19)
$$W = \frac{\lambda}{n_c^2} \frac{d}{d\lambda} \left(\lambda \frac{dn_c^2}{d\lambda} \right)$$

(20)
$$V = (Z^2 - W) / (2 - Z).$$

10 Para dividir el efecto de los dos agentes impurifi-
 cantes entre Δ_1 y Δ_2 , puede definirse Δ_1 y Δ_2 por

(21a)
$$\Delta_1 = \left[\delta_G(1-X_G) + \delta_B X_B \right] / (2n_c^2)$$

(21b)
$$\Delta_2 = \left[\delta_G X_G + (1-X_B) \delta_B \right] / (2n_c^2)$$

15 X_G es una medida de la cantidad de óxido de germa-
 nio que es asignada a Δ_2 . Si X_G es 1, todo el óxido de ger-
 manio es asignado a Δ_2 . X_B es la medida de la cantidad de
 óxido de boro asignada a Δ_1 .

Las ecuaciones (21a-b) son compatibles con la con-
 dición requerida

(22)
$$\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2).$$

20 En las ecuaciones (21a-b), las cantidades X_G y X_B
 son introducidas para especificar Δ_1 y Δ_2 . En muchos sis-
 temas de vidrios el cuadrado del índice de refracción es pro-
 porcional a la concentración de agente impurificante. Si es
 25 to ocurre, entonces X_G y X_B son proporcionales a las concen-
 traciones de agentes impurificantes de GeO_2 y B_2O_3 . Esta pro-
 porcionalidad, no obstante, no es necesaria para la práctica
 de este invento.

Utilizando las ecuaciones (16)-(21) se mostrará
 ahora que se puede encontrar X_G y X_B de manera tal que se es-
 30 pecifique cualquiera de las formas preferidas de realización

1 representadas respectivamente por la ecuación (14) o por la
ecuación (15).

Ejemplo 2

5 Considérese un ejemplo en que los perfiles de índices
están dados por las ecuaciones (1-2), los Δ_i están da-
dos por las ecuaciones (16) y (21), y se cumple la condición
deseable que produce mínima dispersión a lo largo de un mar-
gen de longitudes de ondas, (ecuación 14). Esto es equivalen-
te a la condición

10 (23a) $(1-X_G)^2 A_{GG} + (1-X_G)X_B A_{BG} + X_B^2 A_{BB} = 0$

(23b) $(1-X_B)^2 A_{BB} + (1-X_B)X_G A_{BG} + X_G^2 A_{GG} = 0$

En lo que antecede, los A son coeficientes determi-
nados por los índices de refracción de los vidrios con los
15 que se están trabajando. Las ecuaciones (23a) y (23b) se pue-
den expresar en la forma más general:

(24) $(1-X_i)^2 A_{ii} + (1-X_i)X_j A_{ij} + X_j^2 A_{jj} = 0$
 $i = G, j = B \text{ o } i = B, j = G$

en donde

20 (25) $A_{ij} = \frac{\delta_i' \delta_j' - (\delta_i \delta_j'' + \delta_j \delta_i'')}{2-2V \delta_i \delta_j} - \frac{V(\delta_i' \delta_j + \delta_j \delta_i')}{2}$

Al escribir la ecuación (24) se han despreciado pe-
queños términos de corrección de orden X^3 .

25 Las cantidades A_{GG} , A_{BG} , A_{BB} de la ecuación (25)
pueden ser evaluadas utilizando los ajustes de Sellmeier an-
tes mencionados en los datos de índices de refracción.

Las ecuaciones (24) representan por lo tanto un par
de ecuaciones cuadráticas simultáneas que determinan los pa-
rámetros de diseño X_G y X_B . Las soluciones de la ecuación

30 (24)

$$1 \quad (26a) \quad X_G = \bar{\tau} \left[2A_{BB} + A_{BG} \bar{\tau} D \right] / (2D)$$

$$(26b) \quad X_B = \bar{\tau} \left[2A_{GG} + A_{BG} \bar{\tau} D \right] / (2D)$$

en donde

$$5 \quad (27) \quad D = (A_{BG}^2 - 4 A_{BB} A_{GG})^{1/2}$$

Utilizando los ajustes de Sellmeier antes mencionados y escogiendo $\lambda = 0,85$ micras, se pueden utilizar esas ecuaciones para encontrar la solución:

$$10 \quad (28) \quad X_G = 0,772 \text{ y } X_B = 1,082.$$

Las ecuaciones (21) y (22) se pueden utilizar entonces para encontrar

$$(29a) \quad \Delta_1 = 9,04 \times 10^{-3} \text{ y } \Delta_2 = 0,62 \times 10^{-3}$$

$$15 \quad (29b) \quad \frac{\lambda d \Delta_1}{d \lambda} = 7,60 \times 10^{-4} \text{ y } \frac{\lambda d \Delta_2}{d \lambda} = -6,61 \times 10^{-4}$$

La ecuación (2) da entonces el deseado resultado

$$(30) \quad \alpha_1 = 1,810 \text{ y } \alpha_2 = 4,088.$$

El perfil de índices caracterizado por las ecuaciones (29) y (30) puede ser producido si los perfiles de concentraciones de agentes impurificantes de óxido de germanio y óxido de boro son:

$$(31a) \quad C_G(r) = 0,079 \left[1 - 0,772 (r/a)^{1,810} - 0,228 (r/a)^{4,088} \right]$$

y

$$(31b) \quad C_B(r) = 0,135 \left[2,082 (r/a)^{1,810} - 1,082 (r/a)^{4,088} \right]$$

25 Estos resultados están basados en la suposición de que el índice de refracción varía linealmente con la concentración de agentes impurificantes. Para sistemas formadores de vidrio que manifiestan desviaciones respecto de la linealidad, este invento puede ser aplicado todavía extendiendo el análisis para incluir los términos no lineales.

1 La figura 3 describe un aparato para formar una
guía de ondas que tiene los perfiles de ecuaciones (30) y
(31). El aparato será descrito en primer término de manera
que se puede comprender mejor el modo en que se utiliza el
5 presente invento para hacer funcionar este aparato.

 Una capa 16 de hollín de vidrio es aplicada a un
miembro de partida de vidrio substancialmente cilíndrico o
varilla de cebado 17, mediante un quemador 18 de oxidación
en fase de vapor exterior. El gas combustible y oxígeno o
10 aire son suministrados al quemador 18 a partir de un manan-
tial no mostrado, mediante unos medios apropiados tal como
una tubería 19. Esta mezcla es quemada para producir la lla-
ma 20 que es emitida desde el quemador.

 Los recipientes 21, 22 y 23 contienen cantidades
15 de constituyentes líquidos 24, 25 y 26 respectivamente, que
finalmente formarán la capa 16. Un medio gaseoso apropiado,
tal como oxígeno o similar, es suministrado a los recipien-
tes y hecho borbotear a través de los líquidos mediante tu-
bos 27, 28 y 29. El medio gaseoso o gas portador es suminis-
20 trado desde un manantial apropiado, no mostrado, en cantida-
des previamente determinadas y a presiones previamente de-
terminadas. La circulación de gas portador que es borboteado
a través del constituyente líquido 24 en el recipiente 21,
es regulada por la válvula 30, siendo indicado el caudal de
este gas portador mediante el medidor 31. Similarmente, los
25 caudales de gas portador borboteado a través de constituyen-
tes líquidos 25 y 26 en recipientes 22 y 23 son regulados
por válvulas 32 y 33, siendo indicados los caudales de estos
gases por los medidores 34 y 35.

30 Los constituyentes líquidos en los recipientes son

1 mantenidos a las temperaturas deseadas mediante calentadores.

5 Cuando el gas portador es borboteado a través de los consti-
tuyentes líquidos calentados, vapores de este líquido resul-
tan arrastrados en el gas portador y son evacuados mediante
el tubo o tubería 36. La mezcla de vapores de gas portador
es alimentada al quemador 18 de oxidación en fase de vapor
exterior, y es inyectada dentro de la llama 20 en donde la
mezcla de vapores de gas es oxidada para formar un hollín de
10 vidrio. El hollín abandona la llama 20 en una corriente que
es dirigida hacia el miembro de partida 17. El miembro de
partida 17 es a la vez hecho girar y trasladado según se in-
dica por las flechas adyacentes al extremo soportante del
miembro de partida, de manera tal que se aplica una deposi-
ción uniforme de hollín al miembro de partida.

15 Los recipientes 21-23 contienen un reactivo forma-
dor de vidrio y al menos dos agentes impurificantes. En es-
te ejemplo, el recipiente (21) contiene SiCl_4 , el recipiente
25 contiene GeCl_4 y el recipiente 26 contiene BCl_3 .

20 Las válvulas 30, 32 y 33 son controladas de la mane-
ra descrita en la patente de Schultz 3.826.560 para producir
el índice de refracción en gradiente. Las válvulas 32 y 33
son controladas de acuerdo con este invento para hacer variar
la concentración de agente impurificante de la manera desea-
da.

25 De acuerdo con el invento, los circuitos de control
37 y 38 controlan las concentraciones de los dos agentes im-
purificantes mientras se está formando la preforma de guía
de ondas. Un perceptor 39 produce una señal de salida eléc-
trica que representa el radio de la preforma de guía de on-
das cuando ésta se está formando. Esta señal es aplicada a
30

1 cada uno de los circuitos de control 37 y 38. El circuito
de control 37 produce una señal de control que varía de
de acuerdo con la ecuación (31a, 31b). En este ejemplo, se su-
pone que la concentración de GeO_2 es de 7,9% en moles en el
5 centro del núcleo y la concentración de B_2O_3 es de 13,5% en
moles en el revestimiento. Por lo tanto, los circuitos de
control 37 y 38 son programados para producir perfiles de
concentraciones de agentes impurificantes en la preforma que
darán lugar a perfiles de concentraciones en la guía de on-
das, dados por la ecuación (31).

10 Son bien conocidos circuitos analógicos que produ-
cen dichas señales de control. Por ejemplo "ANALOG COMPUTA-
TION IN ENGINEERING DESIGN" Rogers y Connolly, McGraw-Hill
Book Company, Inc., 1960, describe tales circuitos. No obs-
tante, en la forma preferida de realización de este invento,
15 una microordenadora digital es utilizada para generar las
señales de control. Un ejemplo de una microordenadora que
es apropiada para este fin es el Program Logic Controller
(Controlador lógico de programas) fabricado por Allen-Bradley
20 Company.

Para la guía de ondas óptica hecha de esta manera,
la dispersión de impulsos en función de la longitud de onda
ha sido calculada y se muestra por C2 en la figura (4). Com-
parando C2 del presente invento con C1 para un perfil de α
25 única puede verse que la curva C2 hace mínima la dispersión
de impulsos a lo largo de un margen de longitudes de ondas
significativamente más amplio.

En la figura 5, $\alpha_1(\lambda)$ y $\alpha_2(\lambda)$ son las funciones
de la ecuación (2) que han sido determinadas de acuerdo con
30 el ejemplo 2. Puede verse que tanto α_1 (A1 en la figura 5)

1 como α_2 (A2 en la figura 5) tienen pendiente nula con 0,85
 micras de acuerdo con la condición de la ecuación (14). Es
 debido a la pendiente nula en $\alpha_1(\lambda)$ y $\alpha_2(\lambda)$ con 0,85 mi
 5 cras porque la dispersión de impulsos en función de la lon-
 gitud de ondas tiene una región muy amplia de dispersión mí
 nima de impulsos tal como se muestra en la figura 4.

En la figura (6), los perfiles de agentes impurifi
 cantes GeO_2 y B_2O_3 de este ejemplo se muestran por las cur-
 vas G2 y B2. Como comparación, los perfiles de agentes impu
 10 rificantes GeO_2 y B_2O_3 requeridos para producir el óptimo
 perfil de α única de la técnica anterior se muestran por las
 curvas G1 y B1. Los perfiles de concentraciones de la técni
 ca anterior mostrados por G1 y B1 están dados como

$$(32) \quad C_G(r) = 0,079 [1 - (r/a)^{1,957}]$$

$$(33) \quad C_B(r) = 0,135 (r/a)^{1,957}$$

Es evidente que son diferentes el perfil de agentes
 impurificantes del perfil óptimo de α única, y el perfil de
 α doble de este ejemplo. Estas diferencias pueden ser obser
 20 vadas utilizando una técnica de microsondas de rayos X para
 medir perfiles de agentes impurificantes de guías de ondas
 ópticas o de preformas de guías de ondas ópticas. Dicha téc
 nica de microsondas ha sido descrita por W. T. Kane en un
 artículo titulado "APPLICATIONS OF THE ELECTRON MICROPROBE
 25 IN CERAMICS AND GLASS TECHNOLOGY" que aparece en Microprobe
 Analysis, editado por C.A. Andersen, John Wiley & Sons, Inc.
 1973.

Ejemplo 3

Como otra ilustración de una forma preferida de rea
 30 lización del invento, se determinarán perfiles de índices

1 [de acuerdo con la ecuación (15)] que proporcionarán dis-
persión mínima de impulsos con dos longitudes de onda,
 $\lambda_1 = 0,80$ micras y $\lambda_2 = 1,20$ micras.

Supóngase que los símbolos definidos en las ecuacio-
5 nes (16)-(22) representan cantidades a 0,80 micras. Defina-
se un grupo análogo de cantidades evaluadas a 1,20 micras y
designense estas cantidades escribiendo una barra sobre el
símbolo. Por ejemplo

$$(34) \quad \bar{\delta}_G = \bar{n}_C^2 - \bar{n}_S^2$$

10 en donde \bar{n}_C y \bar{n}_S están evaluados con 1,20 micras. La condi-
ción a satisfacer es que

$$(35) \quad \alpha_1 = \bar{\alpha}_1$$

$$\alpha_2 = \bar{\alpha}_2.$$

15 Utilizando la ecuación (4) y la definición de las ecuaciones
(16)-(22) se deduce que la ecuación (35) es equivalente a
la expresión:

$$(36) \quad (1-X_i)^2 B_{ii} + (1-X_i) X_j B_{ij} + X_j^2 B_{jj} = 0$$

20 en donde $i = G$ y $j = B$ ó $j = G$ e $i = B$.

Al escribir la ecuación (36), se han despreciado
pequeños términos de corrección de orden X^3 .

Las cantidades B_{ij} son definidas como

$$(37) \quad B_{ij} = 2(Z-\bar{Z}) (\delta_i \bar{\delta}_j + \delta_j \bar{\delta}_i) + (2-\bar{Z}) (\bar{\delta}_i \delta_j' + \bar{\delta}_j \delta_i')$$

25

$$-(2-Z) (\delta_i \bar{\delta}_i' + \delta_i \bar{\delta}_j').$$

Los coeficientes B_{GG} , B_{BB} , B_{GB} pueden ser evaluados
a partir de los ajustes de Sellmeier antes mencionados.

30

Entonces se puede resolver la ecuación (36) para
encontrar

1 (38) $X_G = 0,398$
 $X_B = -2,021$

y

(39) $\alpha_1 = 3,028$
 5 $\alpha_2 = 1,581.$

La dispersión de impulsos en función de la longitud de onda para una guía de ondas fabricada de acuerdo con las especificaciones anteriores se muestra en la figura 7. La dispersión de impulsos es hecha mínima en la proximidad de 0,80 μm y 1,20 μm .

Los perfiles de agentes impurificantes de esta guía de ondas están dados como

(40) $C_G(R) = 0,079 [1 - 0,398(r/a)^{3,028} - 0,602(r/a)^{1,581}]$

15 $C_B(R) = 0,135 [3,021(r/a)^{1,581} - 2,021(r/a)^{3,028}]$

Si la aproximación lineal de la ecuación (21) no es válida, el análisis se hace más difícil; pero los principios del diseño de guía de ondas permanecen idénticos.

Puede lograrse una mejora adicional en la reducción de dispersión de impulsos introduciendo parámetros de diseño adicionales ϵ_i en la ecuación (13), de manera tal que

(41) $\epsilon_i = 2 - 2 \frac{n_c}{N_c} \frac{\lambda}{\Delta_i} \frac{d\Delta_i}{d\lambda} - \frac{12}{5} \Delta_i \epsilon_i$

Las ϵ_i se consideran como parámetros pequeños, es decir

(43) $|\epsilon_i| \leq 2. \quad i = 1 \dots N.$

Con métodos normalizados de análisis se puede escoger ϵ_i de manera tal que reduzca adicionalmente la dispersión. Los valores exactos de ϵ_i dependen de

1

$$\Delta_j, \frac{d\Delta_j}{d\lambda}, \lambda, n_c, N_c$$

y la distribución de energía óptica entre el modo de la guía de ondas.

5

Cualquier elección particular de ϵ_i sujeta a la condición de la ecuación (42) está dentro del alcance de este invento.

10

Aunque se ha mostrado y descrito una forma particular de realización del invento, diversas modificaciones están dentro del espíritu y alcance genuinos del invento. Las siguientes reivindicaciones están destinadas a cubrir todas dichas modificaciones.

15

20

25

30

1

REIVINDICACIONES

5

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

10

1ª.- Un dispositivo guía-ondas óptico que tiene un núcleo con un perfil de índices de refracción graduado radialmente y un revestimiento que rodea al núcleo, caracterizada porque la guía de ondas comprende al menos tres composiciones formadores de vidrio y porque dicho perfil de índices de refracción cambia como una función del radio r , sustancialmente como:

15

$$n^2(r) = n_c^2 \left[1 - \sum_{(i=1)}^N 2\Delta_i (r/a)^{\alpha_i} \right]$$

20

en donde $N \geq 2$ es el número de términos del perfil de índices de tipo α , n_c es el índice de refracción con $r = 0$, n_o es el índice de refracción con $r = a$.

$$\Delta = (n_c^2 - n_o^2) / 2n_c^2$$

$$\Delta = \sum_{i=1}^N \Delta_i$$

25

y Δ_i así como α_i son valores que producen una dispersión de impulsos reducida.

2ª.- Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1ª, caracterizado porque los valores α_i están dados por

$$\alpha_i = 2 - \frac{2n_c}{N_c} \frac{\lambda}{\Delta_i} \frac{d\Delta_i}{d\lambda} - \frac{12\Delta}{5}, \quad i = 1 \dots N,$$

30

1 en donde λ es una longitud de onda con la que se utilizará dicha guía de ondas, y

$$N_c = n_c - \frac{\lambda dn_c}{d\lambda}$$

5 3ª.- Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1ª, caracterizado porque los valores de α_i están dados por

$$\alpha_i = 2 - \frac{2n_c}{N_c} \frac{\lambda}{\Delta_i} \frac{d\Delta_i}{d\lambda} - \frac{12}{5} \epsilon_i \Delta_i$$

10 en donde λ es una longitud de onda con la que se utilizará dicha guía de ondas

$$N_c = n_c - \lambda \frac{dn_c}{d\lambda}$$

15

$$|\epsilon_i| \leq 2 \quad i = 1 \dots N$$

y en donde las ϵ_i producen una mejorada dispersión de impulsos.

20 4ª.- Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 3ª, caracterizado porque $\epsilon_i = 1$ para $i = 1 \dots N$.

5ª.- Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las precedentes reivindicaciones, caracterizado porque los Δ_i son valores que producen una dispersión de impulsos a lo largo de un margen de longitudes de ondas.

25 6ª.- Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 5ª, caracterizado porque los Δ_i son valores tales que:

$$\left. \frac{d\alpha_i}{d\lambda} \right|_{\lambda = \lambda_0} = 0, \quad i = 1 \dots N$$

30 en donde λ_0 es la longitud de ondas en el margen espectral

1 con el que se utilizará dicha guía de ondas.

7ª.- Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1ª a 4ª, caracterizado porque los Δ_i son valores que producen dispersión de impulsos con dos o más longitudes de ondas.

8ª.- Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 7ª, caracterizado porque los valores de los Δ_i son tales que

$$10 \quad \alpha_i(\lambda_1) = \alpha_i(\lambda_2) \dots = \alpha_i(\lambda_q), \quad i = 1 \dots N$$

en donde $2 \leq q \leq N$, en donde $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_q$ incluyen al menos una longitud de ondas con la que se utilizará dicha guía de ondas.

9ª.- Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque dichas composiciones formadoras de vidrio tienen un perfil de concentraciones que varía substancialmente como

$$20 \quad C_j(r) = C_j(0) + \sum_{i=1}^N C_{ji}(r/a)^{\alpha_i}$$

$$j = 1 \dots P$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$N \geq 2,$$

en donde los coeficientes C_{ji} y α_i producen una dispersión de impulsos reducida, y en donde $C_j(0)$ designan las concentraciones con el radio $r = 0$.

25 10ª.- Un dispositivo de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque es una guía de ondas óptica de modos múltiples que tiene una entrada en relación receptora de luz con un manantial que produce impulsos de luz que tienen una longitud media de onda λ , siendo transmitidos dichos impulsos de luz por la

30

1 guía de ondas desde su extremo de entrada hasta su extremo
de salida con dispersión de impulsos reducida en dos o más
longitudes de ondas o a lo largo de un margen de longitudes
de ondas que tienen dicha longitud media de onda λ .

5 11ª.- Un dispositivo guía-ondas óptico.

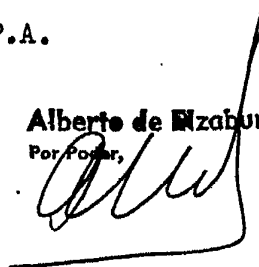
Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

10 Esta Memoria consta de treinta hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 13 JUN 1979

P.A.

15 **Alberto de Ezaburu**
Por Poder,



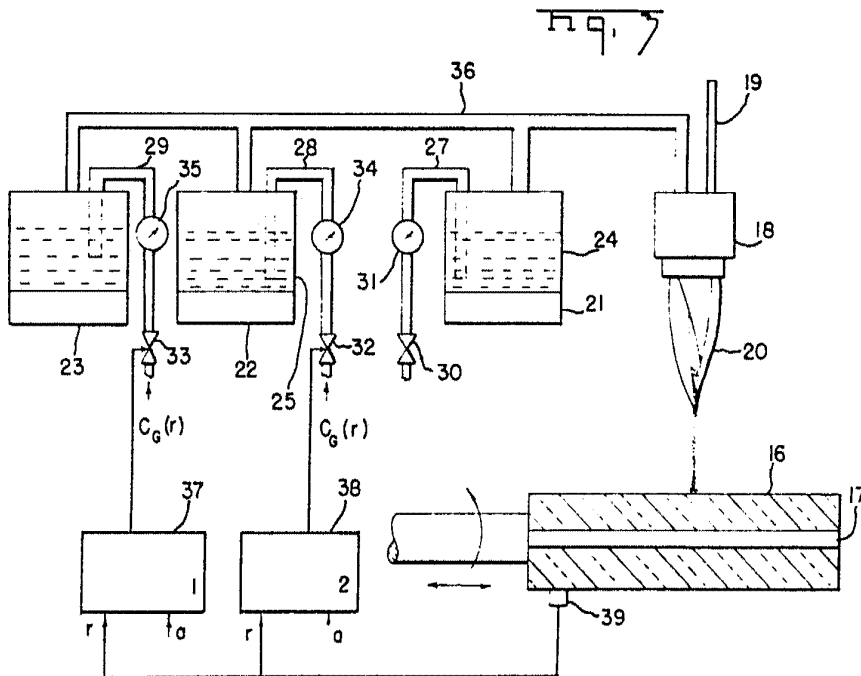
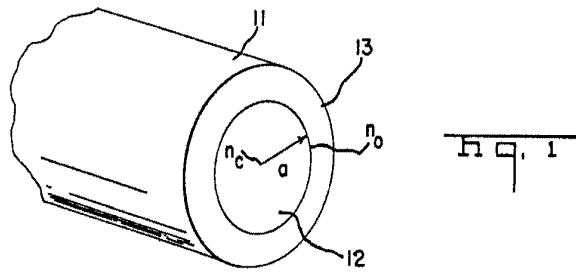
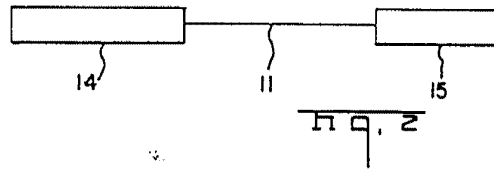
20

25

30

08069

JL(.



Alberto de Elizaburu
Por Poder,

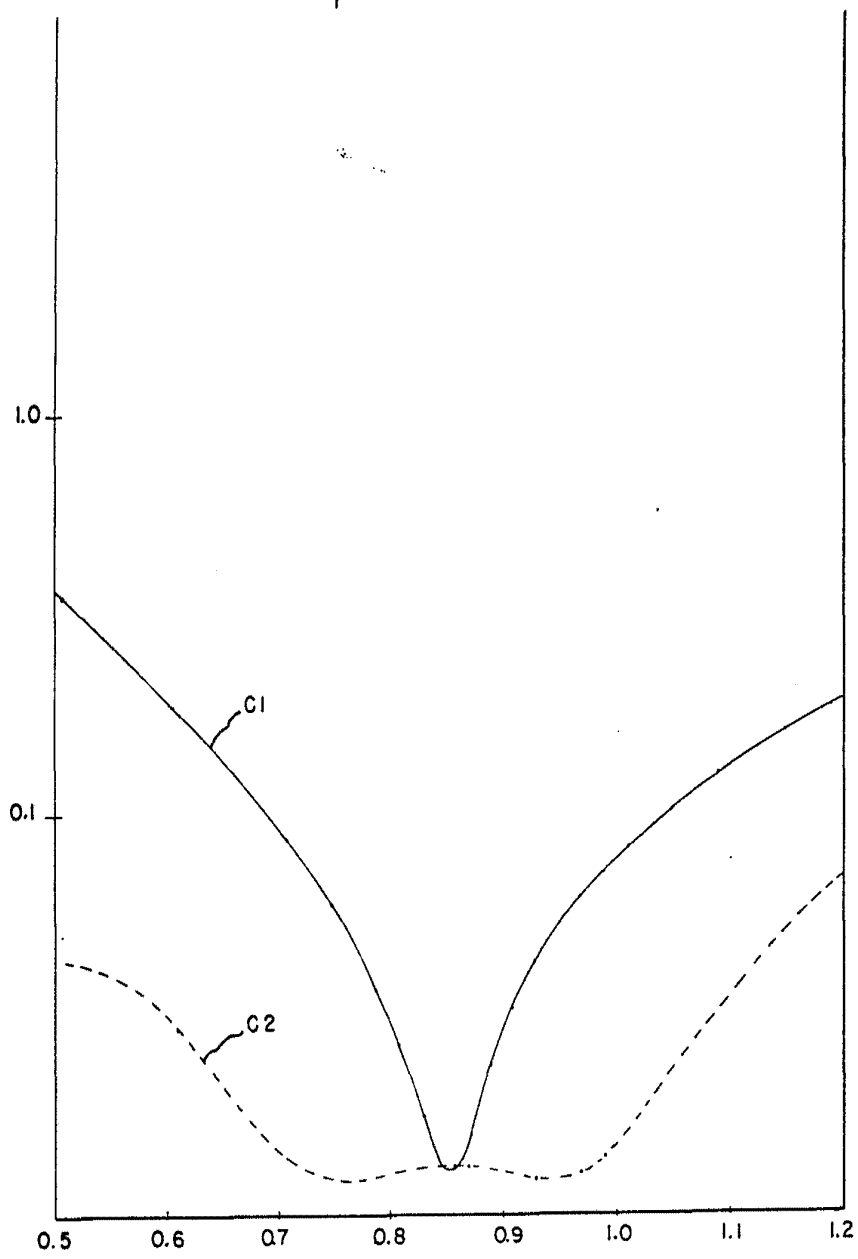
CORNING GLASS WORKS

SPAIN

II/V

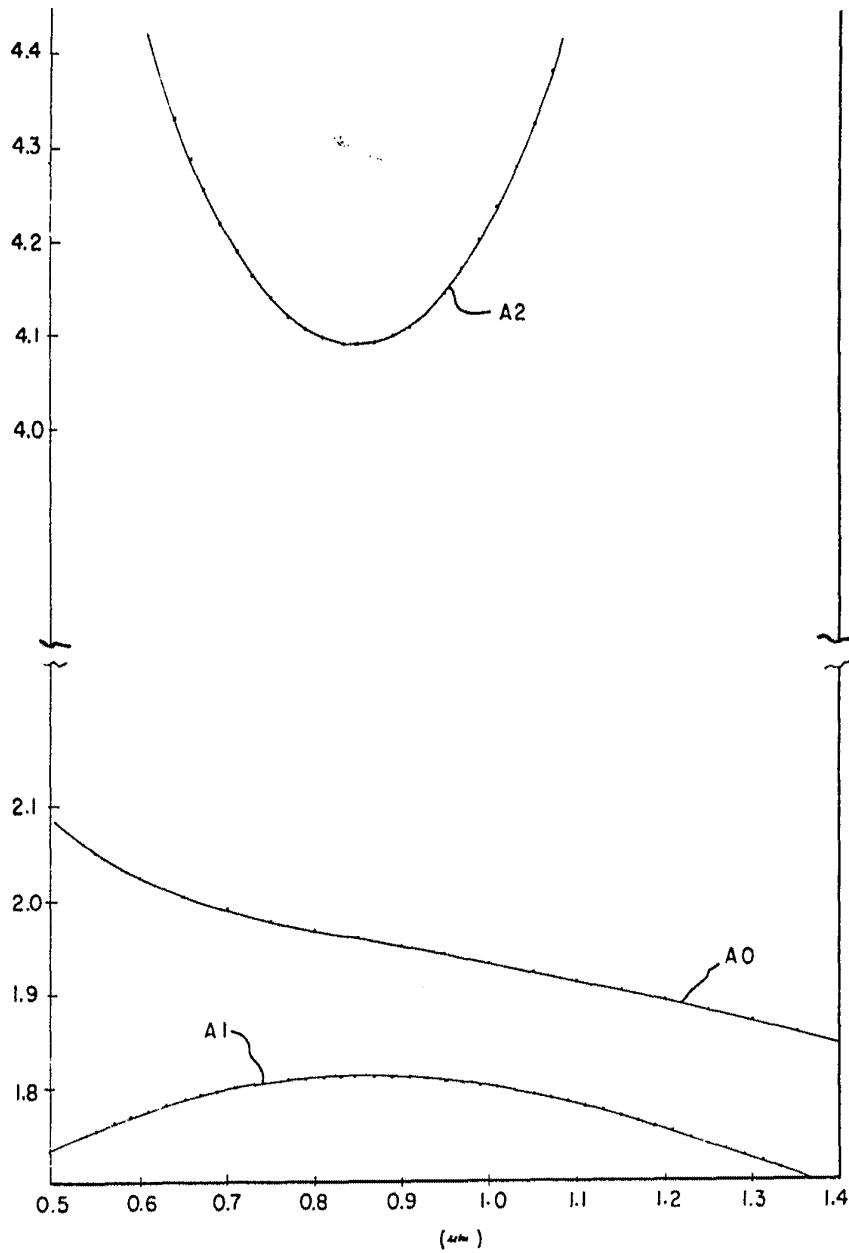
P71253
P70893

Fig. 4



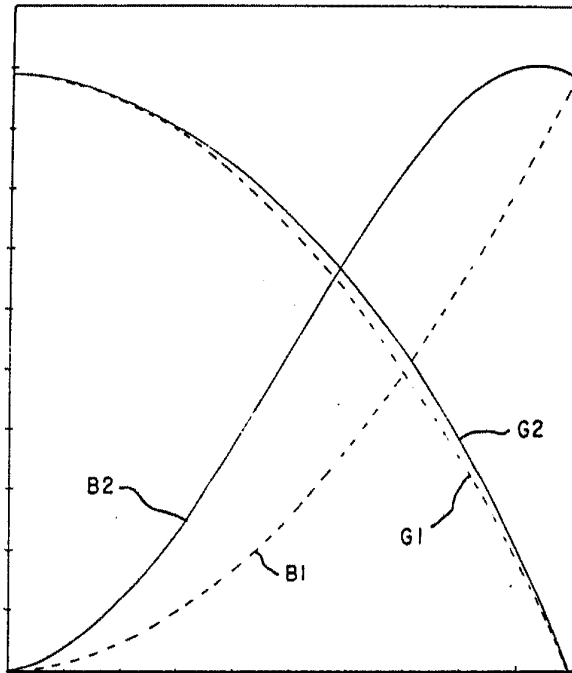
Alberto de Elizaburu
Por Poder,

Fig. 5



Alberto de Mizaburu
Alberto de Mizaburu
Por Poder,

$\frac{n_{D, 5}}{n_{D, 6}}$



Alberto de Mazaris
Por Poder,

CORNING GLASS WGRES

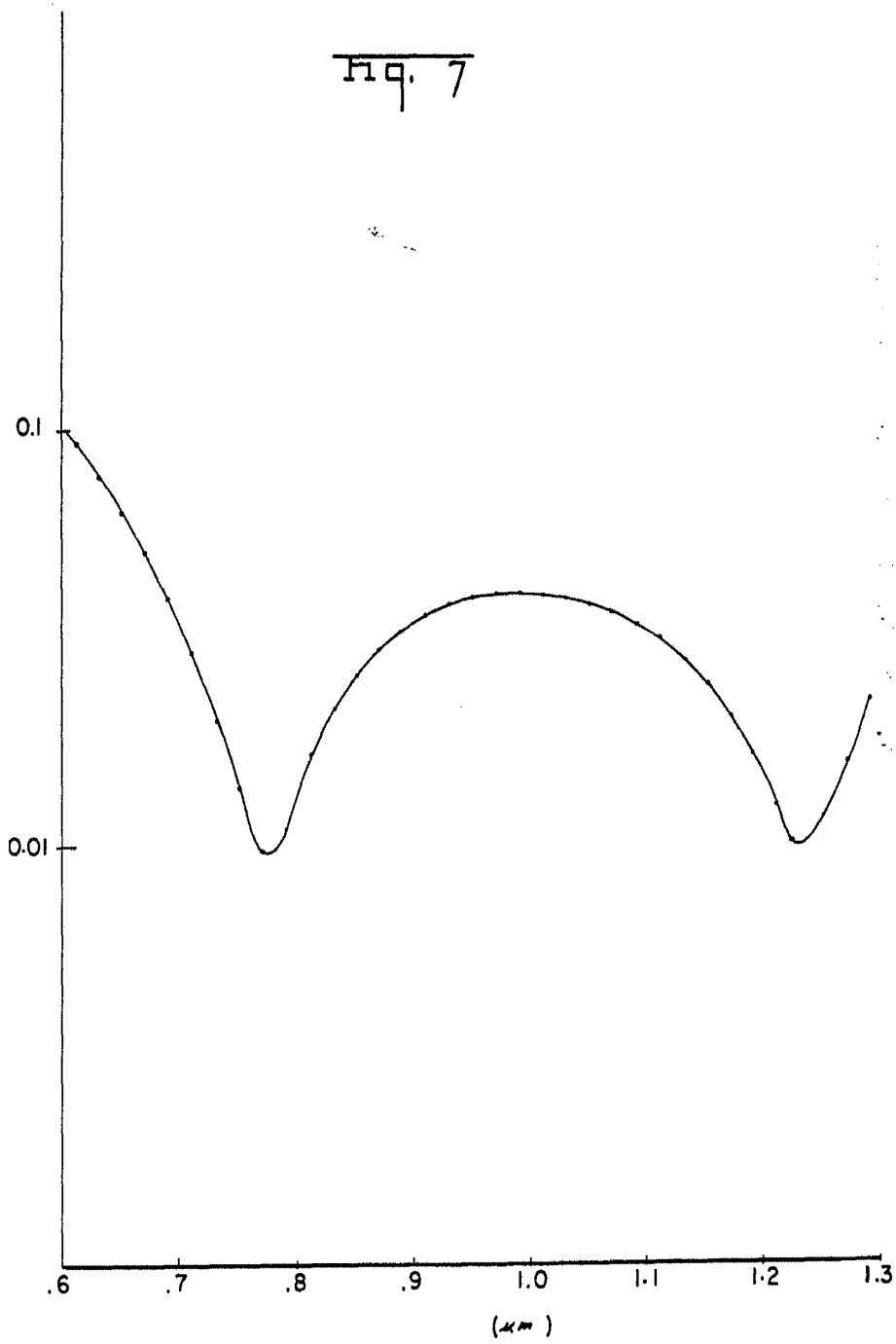
SPAIN

V/V

P71253

P70853

Fig. 7



Alberto de Bizburua
Por Poder,