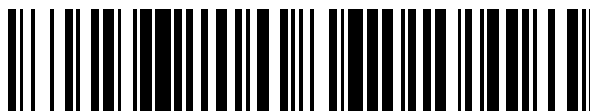


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 859 669**

51 Int. Cl.:

G02B 27/00 (2006.01)

G02B 5/18 (2006.01)

G02C 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.02.2011 PCT/IL2011/000143**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2011 WO11099004**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2011 E 11706364 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2021 EP 2534525**

54 Título: **Sistema de formación de imágenes con profundidad de enfoque ampliada optimizada**

30 Prioridad:

17.05.2010 US 781428
09.02.2010 US 302588 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.10.2021

73 Titular/es:

BRIEN HOLDEN VISION INSTITUTE (100.0%)
Level 4, Rupert Myers Building, Gate 14 Barker
Street, University of New South Wales
Kensington, New South Wales 2052, AU

72 Inventor/es:

ZALEVSKY, ZEEV;
ZLOTNIK, ALEX;
RAVEH, IDO;
BEN-YAISH, SHAI;
LIMON, OFER;
YEHEZKEL, OREN y
LAHAV, KAREN

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 859 669 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

Sistema de formación de imágenes con profundidad de enfoque ampliada optimizada

5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

[0001] Esta invención se refiere a un sistema de formación de imágenes y a un método para la formación de imágenes con una profundidad de enfoque ampliada

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

[0002] La extensión de la profundidad de enfoque de las imágenes es un objetivo común de varios sistemas de imágenes. Se han desarrollado técnicas para ampliar la profundidad de enfoque de los sistemas de formación de imágenes y se describen, por ejemplo, en las siguientes publicaciones:

US 6.536.898 y US 7.025.454 describen una óptica de profundidad de campo ampliada para el ojo humano. Esta técnica utiliza la modificación de lentes de contacto, implantes intraoculares y/o la propia superficie del ojo. Esto se logra aplicando variaciones de fase seleccionadas a estos elementos ópticos (por ejemplo, variando el grosor de la superficie de la córnea del ojo). Las variaciones de fase codifican por EDF el frente de onda y hacen que la función de transferencia óptica permanezca esencialmente constante dentro de un rango de distancias desde la posición de enfoque. Esto proporciona una imagen codificada en la retina. El cerebro humano decodifica esta imagen codificada, resultando en una imagen enfocada sobre una mayor profundidad de campo.

US 2009/0279189 describe una lente que tiene una profundidad de enfoque extendida. La lente incluye una pluralidad de capas de lente, siendo cada capa de lente axi-simétrica y con una profundidad de enfoque extendida para enfocar la luz en una sección correspondiente de una curva focal en forma de línea recta ubicada en un eje óptico. En el sistema óptico, la luz se enfoca en un eje óptico para obtener una imagen clara en un amplio rango de distancias entre una cámara y un objeto. El sistema óptico tiene una función de dispersión de puntos que es más simple y simétrica. Es decir, el sistema óptico proporciona una continuidad mejorada de la superficie de una lente y facilidad y flexibilidad en el diseño óptico.

US 7,365,917, US 7,061,693, WO 07/141788, todos asignados al cesionario de la presente solicitud, describen técnicas totalmente ópticas para ampliar la profundidad de enfoque, siendo por tanto adecuadas para su uso en aplicaciones oftálmicas. Según estas técnicas, una disposición de formación de imágenes comprende una lente de formación de imágenes que tiene una cierta apertura afectiva y un elemento óptico asociado con dicha lente de formación de imágenes. El elemento óptico está configurado como un elemento óptico sustancialmente no difractivo que afecta a la fase que define una transición de fase de frecuencia espacialmente baja. El elemento óptico y la lente de formación de imágenes definen un patrón predeterminado formado por características sustancialmente ópticamente transparentes separadas entre sí de diferentes propiedades ópticas.

US2009234448 A1 describe un procesador óptico que comprende un codificador de fase no difractivo que proporciona una profundidad de enfoque extendida. Según estas técnicas, una disposición de formación de imágenes comprende una lente de formación de imágenes que tiene una cierta apertura afectiva y un elemento óptico asociado con dicha lente de formación de imágenes. El elemento óptico está configurado como un elemento óptico sustancialmente no difractivo que afecta a la fase que define una transición de fase de frecuencia espacialmente baja. El elemento óptico y la lente de formación de imágenes definen un patrón predeterminado formado por características sustancialmente ópticamente transparentes separadas entre sí de diferentes propiedades ópticas.

US2009234448 A1 describe un procesador óptico que comprende un codificador de fase no difractivo que proporciona una profundidad de enfoque extendida.

DESCRIPCION GENERAL

[0003] Un procesador óptico según la invención se define en la reivindicación 1 independiente.

[0004] Las realizaciones de la invención se especifican adicionalmente en las reivindicaciones dependientes.

[0005] La presente invención proporciona una nueva técnica totalmente óptica para la profundidad de enfoque (EDOF) adecuadamente ampliada de una unidad de lente de formación de imágenes. Esta técnica utiliza un mecanismo de codificación novedoso para codificar un campo de luz en las proximidades de una unidad de lente de formación de imágenes. La presente invención aprovecha la técnica anterior desarrollada por los inventores y descrita, por ejemplo, en las publicaciones de patente indicadas anteriormente US 7.365.917, US 7.061.693, WO 07/141788.

[0006] La idea principal de la presente invención se basa en la comprensión de lo siguiente: Los sistemas de imágenes, como el ojo humano, tienen una profundidad de enfoque (DOF) determinada por una serie de parámetros físicos como $F/\#$, espectro de iluminación y los términos de aberración (desviaciones de la imagen ideal). Para un sistema libre de aberraciones, el DOF podría definirse de la siguiente manera (usando la regla de oro de $1/4$ de onda de Rayleigh):

$$DOF = 4\lambda F/\#^2$$

donde $F/\# = D/EFL$, siendo EFL la distancia focal efectiva del sistema; y D es la apertura clara de sistema.

[0007] Por tanto, para ampliar el DOF de tal sistema de formación de imágenes, la apertura del sistema de formación de imágenes suele reducirse, lo que inevitablemente da como resultado la pérdida de energía y resolución. La tecnología EDOF, desarrollada por los inventores, utiliza codificación de solo fase (por ejemplo, máscara de fase), que tiene grandes características espaciales (es decir, transiciones de fase de baja frecuencia espacial), ubicadas en la pupila de entrada/apertura o en el plano/pupila de salida del sistema de imágenes para extender el DOF sin reducir la apertura, es decir, sin causar pérdida de energía, ni pérdida de resolución. Esta técnica elimina la necesidad de procesar la imagen para restaurar la imagen.

[0008] La codificación de fase de la apertura efectiva de una unidad de lente de imagen para extender la profundidad de enfoque de la unidad de lente da como resultado un perfil total de la función de transferencia de modulación de enfoque continuo (TFMTF) diferente del de la unidad de lente de imagen original, es decir, sin codificación de fase. En las patentes US 7.061.693 y US 7.365.917 cedidas al cesionario de la presente solicitud se dan más detalles de lentes que proporcionan codificación de fase.

[0009] Los inventores han descubierto que el perfil TFMTF definido por la unidad de lente de imagen con codificación de fase basada en EDOF se puede optimizar aún más para obtener dicho perfil TFMTF, en el que los componentes del gráfico TFMTF correspondientes a la profundidad de enfoque deseablemente extendida para diferentes longitudes de onda (rangos de longitudes de onda) se superponen de la manera óptima. La optimización comprende aplicar codificación adicional al campo de luz en las proximidades de la apertura efectiva codificada en fase de la unidad de lente de imagen seleccionada para tener en cuenta el efecto EDOF que se obtendrá mediante la codificación de fase dentro de la unidad de lente de imagen, por ejemplo, EDOF de rango continuo o EDOF discreto de rango múltiple, y para compensar las aberraciones cromáticas longitudinales (LCA) de dicha unidad de lente de imagen EDOF.

[0010] El LCA provoca un cambio en la posición focal extendida para diferentes longitudes de onda y, por lo tanto, podría manchar el rendimiento del sistema de imágenes equipado con EDOF. La invención proporciona la compensación del efecto LCA mientras se extiende la profundidad de enfoque de la unidad de lente de formación de imágenes. Con este fin, la invención utiliza una codificación de perfil de dispersión (corrección de aberraciones cromáticas) del campo de luz que ha sido o será codificado en fase para así proporcionar imágenes con el perfil deseado de profundidad de foco extendida para múltiples longitudes de onda donde los perfiles de TFMTF de las longitudes de onda se superponen de forma deseable dentro del perfil EDOF. El término "*compensación por LCA*" como se usa en este documento significa reducir el LCA para una lente con respecto a la misma lente, excluyendo la codificación del perfil de dispersión.

[0011] Por lo tanto, la presente invención en su aspecto amplio proporciona un procesador totalmente óptico para aplicar a un campo de luz que pasa a través de una unidad de lente de formación de imágenes predeterminada, comprendiendo dicho procesador óptico un patrón en forma de regiones espaciadas de diferentes propiedades ópticas, estando dicho patrón configurado para definir: un codificador de fase que afecta a los perfiles de la función de transferencia de modulación de enfoque continuo para diferentes componentes de longitud de onda de dicho campo de luz de acuerdo con un perfil predeterminado de una profundidad de enfoque extendida de dicho campo de luz que pasa a través de la unidad de lente de formación de imágenes; y un codificador de perfil de dispersión configurado para proporcionar un solapamiento predeterminado entre dichos perfiles de las Funciones de Transferencia de Modulación de Enfoque Directo dentro de dicho perfil predeterminado de la profundidad de enfoque extendida.

[0012] Cabe señalar que la presente invención no se limita a aplicaciones de "modo de transmisión" (tales como aplicaciones oftálmicas), sino que al mismo tiempo es aplicable a sistemas de formación de imágenes de "modo reflectante". En otras palabras, el objeto y los planos de formación de imágenes pueden estar ubicados en el mismo lado o en lados opuestos de la unidad de lentes de formación de imágenes. En consecuencia, el término "*unidad de lentes de imagen*" debe interpretarse de manera más amplia que solo una o más lentes, pero también espejos o lentes con revestimiento reflectante. Además, el término "*TFMTF*" debe denominarse a través de la función de transferencia de modulación de enfoque.

[0013] El codificador de fase se implementa como un primer patrón formado por un número predeterminado de transiciones de fase, siendo la transición de fase una región que afecta a una fase de luz de manera diferente a la de su entorno, siendo sustancialmente de la misma transparencia. Las regiones de transición de fase están dispuestas con una frecuencia espacial baja dentro de la abertura de la lente, para inducir un efecto de fase sustancialmente no difractivo sobre el campo de luz que pasa a través de ellas.

[0014] El codificador de perfil de dispersión se implementa como un segundo patrón, definiendo una disposición de características tal que este segundo patrón es sustancialmente difractivo y está configurado para proporcionar una adición de potencia óptica predeterminada a la unidad de lente de formación de imágenes. La potencia óptica del corrector de aberraciones cromáticas (codificador de perfil de dispersión) se selecciona de modo que una disposición de lentes de formación de imágenes formada por dicha unidad de lentes de formación de imágenes predeterminada, dicho codificador de fase y dicho codificador de perfil de dispersión se caracterice por un perfil de dispersión deseado.

[0015] En una realización de la invención, los patrones primero y segundo están ubicados en las superficies delantera y

trasera de la unidad de lente de formación de imágenes, con respecto a la dirección de propagación de la luz a través de la unidad de lente de formación de imágenes. Por ejemplo, los patrones primero y segundo pueden tener la forma de relieves superficiales primero y segundo en dichas superficies delantera y trasera de la unidad de lente de formación de imágenes, respectivamente. Según otro ejemplo, estos pueden ser una máscara de fase y un elemento difractivo ubicado en la superficie de la unidad de lente a ciertas distancias desde la misma hasta un contacto físico. En otro ejemplo más, los patrones primero y segundo pueden incorporarse en la unidad de lente, por ejemplo, el patrón del codificador de fase está formado por regiones espaciadas de un material que tiene un índice de refracción diferente al de la unidad de lente.

[0016] En otra realización, los patrones primero y segundo están configurados como un relieve de superficie en la misma superficie de la unidad de lente.

[0017] Por lo tanto, los patrones primero y segundo pueden definirse por máscaras de fase y difractivas asociadas con la unidad de lente, es decir, ubicadas en el mismo de los lados opuestos de la unidad de lente, o incorporadas en la unidad de lente, o definiendo juntas un patrón difractivo combinado que comprende una superposición de dichos patrones primero y segundo y siendo transportado por la unidad de lente de formación de imágenes.

[0018] Según otro aspecto amplio de la invención, se proporciona un procesador óptico para procesar la luz que pasa a través del mismo, que comprende: una unidad de lente de formación de imágenes que proporciona potencia óptica; un codificador de fase no difractivo que comprende un elemento óptico que incluye un patrón de regiones espaciadas, estando dicho patrón configurado para afectar una fase de luz que pasa a través del mismo pero sin afectar sustancialmente la difracción de luz y para proporcionar una profundidad de enfoque extendida para dicha lente, caracterizándose la unidad de lente de formación de imágenes y dicho elemento óptico por una función de transferencia de modulación de enfoque continuo (TFMTF) para cada uno de una pluralidad de componentes de longitud de onda diferentes de un campo de luz que pasa a través de ella y un codificador de perfil de dispersión difractivo adaptado para proporcionar una reducción de aberración cromática por la que hay una mayor superposición entre los TFMTF para la pluralidad de diferentes componentes de longitudes de onda dentro de la profundidad de enfoque ampliada.

[0019] El elemento óptico y el codificador de perfil de dispersión pueden estar dispuestos en las superficies delantera y trasera de la lente, respectivamente, o en la misma superficie de la unidad de lente de formación de imágenes. Al menos uno del elemento óptico y el codificador de perfil de dispersión pueden incorporarse en la unidad de lente de formación de imágenes o un elemento de la unidad de lente de formación de imágenes; o al menos uno del elemento óptico y el codificador de perfil de dispersión pueden estar dispuestos en una ubicación separada de la unidad de lente de formación de imágenes o un elemento de la unidad de lente de formación de imágenes. Otra opción más es combinar el elemento óptico y el codificador de perfil de dispersión como una superposición de un patrón que afecta a la fase no difractiva de dicho elemento óptico y un codificador de perfil de dispersión difractivo.

[0020] Según otro aspecto más amplio de la invención, se proporciona una lente de formación de imágenes que lleva un procesador óptico adaptado para ampliar la profundidad de enfoque con un perfil de dispersión predeterminado.

[0021] La invención, en su aspecto aún más amplio, proporciona una disposición de lentes de formación de imágenes que comprende una unidad de lentes de formación de imágenes y un procesador óptico asociado con dicha unidad de lentes de formación de imágenes, comprendiendo el procesador óptico un patrón de regiones separadas de diferentes propiedades ópticas, comprendiendo dicho patrón un codificador de fase que afecta a los perfiles de la función de transferencia de modulación de enfoque continuo (TFMTF) para diferentes componentes de longitud de onda de un campo de luz que se está formando imágenes de acuerdo con un perfil predeterminado de una profundidad de enfoque extendida que se obtendrá mediante dicha disposición de lentes de formación de imágenes; y un codificador de perfil de dispersión configurado de acuerdo con dicha unidad de lente de formación de imágenes y dicho perfil predeterminado de la profundidad de enfoque extendida para proporcionar una superposición predeterminada entre dichos perfiles TFMTF dentro de dicho perfil predeterminado de la profundidad de enfoque extendida.

[0022] Según otro aspecto más amplio de la invención, se proporciona una lente de formación de imágenes que comprende un patrón de regiones espaciadas de diferentes propiedades ópticas, comprendiendo dicho patrón un codificador de fase que afecta a los perfiles de la función de transferencia de modulación de enfoque continuo (TFMTF) para diferentes componentes de longitud de onda de un campo de luz en el que se obtiene una imagen de acuerdo con un perfil predeterminado de una profundidad de enfoque extendida que se obtendrá mediante dicha disposición de lentes de formación de imágenes; y un codificador de perfil de dispersión configurado de acuerdo con dicha unidad de lente de formación de imágenes y dicho perfil predeterminado de la profundidad de enfoque extendida para proporcionar una superposición predeterminada entre dichos perfiles TFMTF dentro de dicho perfil predeterminado de la profundidad de enfoque extendida.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0023] Para comprender la invención y ver cómo se puede llevar a cabo en la práctica, a continuación se describirán realizaciones, a modo de ejemplo no limitativo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Las **Figs. 1A a 1D** ilustran los efectos de dispersión en una lente de formación de imágenes: las Figs. 1A y 1B

muestran los gráficos TFMTF para diferentes longitudes de onda (Fig. 1A) y un TFMTF total (Fig. 1B) para una lente única o multifocal, y las Figs. 1C y 1D muestran gráficos similares para una lente bifocal;

La **Fig. 2A** muestra esquemáticamente una disposición de lentes de formación de imágenes de la presente invención;

La **Fig. 2B** muestra un ejemplo específico de la implementación de la disposición de formación de imágenes de la Fig. 2A;

Las **Figs. 3A-3C** ejemplifican la técnica de codificación de campo de luz de la invención: la **Fig. 3A** ejemplifica un patrón de codificación de fase EDOF, la **Fig. 3B** ejemplifica el patrón de codificación del perfil de dispersión, y la **Fig. 3C** muestra una codificación (patrón) combinada aplicada al campo de luz que se propaga en la disposición de lentes de formación de imágenes; y

Las **Figs. 4A a 4D** muestran resultados de simulación para el TFMTF de las disposiciones de lentes de formación de imágenes de la presente invención: las Figs. 4A y 4B muestran respectivamente la dispersión de los perfiles TFMTF para diferentes longitudes de onda y el TFMTF total para una lente de formación de imágenes mono o multifocal y las Figs. 4C y 4D muestran gráficos similares para una lente de imagen bifocal.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

[0024] Se hace referencia a las **Figs. 1A a 1D** que ilustran la dispersión que se produce en una unidad de lente de formación de imágenes que utiliza codificación de fase EDOF. La unidad de lente de formación de imágenes puede comprender una lente de enfoque único o de enfoque múltiple (Figs. 1A y 1B) o una lente bifocal (Figs. 1C y 1D).

[0025] Las **Figs. 1A y 1C** muestran los resultados de la simulación para una función de transferencia de modulación de enfoque directo (TFMTF) para una frecuencia espacial de 100cyc/mm. Esta simulación se realizó con Zemax, utilizando el "modelo Arizona Eye", para una lente con una distancia focal de 16,7 mm y un diámetro de pupila de entrada de 3 mm.

[0026] En la **Fig. 1A**, se muestran cuatro gráficos TFMTF, **G1-G4**, correspondientes a cuatro longitudes de onda diferentes en el rango 0,5 - 0,6 μm . Como se muestra, hay un cambio relativo para cada longitud de onda: el gráfico para la longitud de onda 0,6 μm se desplaza 0,18 mm del gráfico correspondiente para una longitud de onda de 0,5 μm . En la **Fig. 1C**, cinco gráficos TFMTF **R1-R5** se muestran correspondientes al paso de luz de cinco longitudes de onda diferentes en el rango de 0,47 - 0,63 μm a través de una unidad de lente bifocal difractiva. Estos gráficos muestran TFMTF, que es el módulo de OTF (es decir, contraste de imagen) en función del cambio de enfoque de la lente. Suponiendo que todas las longitudes de onda tienen el mismo peso (son de la misma intensidad), los gráficos resultantes se ilustran en **Figs. 1B y 1D**, respectivamente.

[0027] Por tanto, para un valor dado de TFMTF, la profundidad de enfoque real que se puede obtener (es decir, que proporciona suficiente contraste de la imagen) es menor que la de cada longitud de onda. Por ejemplo, para TFMTF = 0,2, se obtiene una profundidad focal de aproximadamente 6 mm para cada longitud de onda (Fig. 1A), mientras que es de aproximadamente 4 mm para el gráfico TFMTF total (Fig. 1B).

[0028] Por lo tanto, existe la necesidad de compensar la dispersión de manera que provoque la superposición de los gráficos TFMTF de la manera óptima. Debe entenderse que la forma óptima de superposición significa superposición dentro de la profundidad requerida de la región o regiones de enfoque, definida por las aplicaciones específicas. Puede ser una región continua o una profundidad de enfoque de dos o varias regiones, como se requiere, por ejemplo, en algunas aplicaciones oftálmicas o para lectores de imágenes que requieran una calidad de imagen mejorada en las zonas de visión cercana y lejana.

[0029] La compensación requerida debe tener en cuenta que las extensiones de DOF para diferentes longitudes de onda son diferentes, es decir, más grandes para longitudes de onda más largas y más pequeñas para una más corta, y también deben tener en cuenta los requisitos iniciales de profundidad de enfoque con respecto a una unidad de lente de imagen específica. En otras palabras, la corrección de las aberraciones cromáticas (codificación del perfil de dispersión) debe configurarse de acuerdo con los perfiles de profundidad de enfoque, de la lente de formación de imágenes con efecto EDOF, para las múltiples longitudes de onda, por ejemplo, las de los colores primarios.

[0030] La presente invención resuelve el problema anterior proporcionando un procesador totalmente óptico para ser aplicado a un campo de luz que incide sobre una unidad de lente de formación de imágenes predeterminada (por ejemplo, pasando a través de la unidad de lente). Este procesamiento óptico se implementa pasando luz a través de un patrón de regiones espaciadas de diferentes propiedades ópticas. Este patrón define un codificador de fase que afecta a los perfiles TFMTF para diferentes componentes de longitud de onda de acuerdo con perfiles EDOF predeterminados para cierta unidad de lente de imagen, y también define un codificador de perfil de dispersión configurado para proporcionar una superposición predeterminada entre los perfiles TFMTF dentro del perfil EDOF.

[0031] Se hace referencia a la **Fig. 2A** mostrando esquemáticamente una disposición de imágenes **10** de la presente

invención. La disposición de imágenes **10** incluye una unidad de lentes de imagen **12** y un procesador óptico **14**. La unidad de lentes de imagen **12** puede incluir uno o más elementos ópticos configurados y operables para crear una imagen de un objeto en un plano de formación de imágenes. El procesador óptico **14** puede ser una unidad separada ubicada cerca (hasta el contacto físico con) de la unidad de lentes de imagen **12** (generalmente ubicada de manera que esté cerca de la apertura efectiva de la unidad de lente) ubicada a ambos lados de la unidad de lente o ambos; o puede estar incorporada al menos parcialmente dentro de la unidad de lente (incrustado en la misma). El procesador óptico está configurado para proporcionar un perfil deseado de la profundidad de enfoque extendida para la unidad de lente de formación de imágenes dada y un perfil TFMTF deseado de múltiples longitudes de onda dentro de dicho perfil de la profundidad de enfoque extendida.

[0032] Como se muestra en **Fig. 2A**, el procesador óptico **14** incluye un codificador de fase (máscara) **16** definido por un primer patrón **PC**, y un codificador de perfil de dispersión **18** (por ejemplo, máscara) definido por un segundo patrón **DC**. En este ejemplo, las máscaras **16** y **18** se muestran como elementos separados, ambos separados de la unidad de lente, ubicándose la máscara de codificación de fase **16** corriente arriba de la unidad de lente y estando la máscara de codificación de dispersión **18** situada corriente abajo de la lente con respecto a la dirección de propagación de la luz. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, para los fines de la invención, la lente **12** y los codificadores **16**, **18** pueden organizarse de manera diferente. Además, los códigos de las máscaras **16** y **18** pueden estar integrados en un solo patrón (máscara) estando separado de la lente o siendo integral con ella (por ejemplo, incrustado en la misma).

[0033] Debe entenderse que la disposición de imágenes **10** está configurada con una o más potencias ópticas, para proporcionar un perfil de extensión predeterminado para el foco (focii) definido por dicha potencia óptica, y para tener un perfil de dispersión cromática deseado. El codificador de fase está configurado para proporcionar dicho perfil de extensión predeterminado, sin añadir sustancialmente ninguna potencia óptica a la unidad de lente. La potencia óptica deseada de toda la disposición de formación de imágenes para cada longitud de onda es una suma de las respectivas potencias ópticas de los elementos de dicha disposición. El codificador de dispersión se configura así con una determinada potencia óptica (para cada longitud de onda) seleccionada de modo que el codificador de dispersión proporcione cambios deseables de los TFMTF dentro de la profundidad predeterminada del perfil de extensión de foco. Debe entenderse que los TFMTF deseados pueden ser funciones multilobulares. Respectivamente, la **Fig. 2B** ilustra esquemáticamente una disposición de imágenes **100** según un ejemplo de la invención. Los mismos números de referencia identifican componentes comunes en todos los ejemplos. La disposición de imágenes **100** incluye una unidad de lentes de imagen **12** (formado por una sola lente en el presente ejemplo) y un procesador óptico **14** que se lleva por lados opuestos **12A** y **12B** de la unidad de la lente. Aquí, los codificadores de fase y dispersión (patrones **PC** y **DC**) se implementan como patrones de superficie en las superficies frontal y posterior de la unidad de lentes **12A** y **12B**. Uno de estos patrones o ambos pueden tener la forma de un relieve superficial; o pueden estar formados por regiones separadas de un material que tiene un índice de refracción diferente al de la lente.

[0035] Se hace referencia a **Figs. 3A-3C**, ejemplificando el efecto del procesador óptico según la técnica de codificación de campo de luz de la invención. La **Fig. 3A** ejemplifica un perfil radial del patrón de codificación de fase de EDOF **PC** (máscara), que es un patrón de fase solamente, sustancialmente no difractivo diseñado para proporcionar un perfil de EDOF deseado para la unidad de lente de formación de imágenes. La **Fig. 3B** ejemplifica un perfil radial del patrón de codificación del perfil de dispersión **DC**, que es un patrón difractivo diseñado de acuerdo con la lente de formación de imágenes con el perfil EDOF para desplazar deseablemente los componentes EDOF de diferentes longitudes de onda dentro de dicho perfil deseado. La **Fig. 3C** muestra una codificación (patrón) combinada aplicada al campo de luz que se propaga en la disposición de lentes de formación de imágenes.

[0036] Consideremos la codificación anterior de la unidad de lente de imagen similar a la del ejemplo de las **Figs. 1A-1B**. La función del corrector de aberraciones cromáticas (codificador de perfil de dispersión), configurado para desplazar correctamente los gráficos EDOF TFMTF, se implementa mediante un elemento difractivo (por ejemplo, lente de Fresnel).

[0037] La distancia focal de la lente difractiva, f_{Dif} , tiene la siguiente dependencia de longitud de onda:

$$f_{Dif} = \frac{\lambda_0 f_0}{\lambda}$$

$$P_{Dif} = \frac{1}{f_{Dif}} = \frac{\lambda}{\lambda_0 f_0}$$

dónde f_0 es la distancia focal para una longitud de onda central λ_0 .

[0038] La **Fig. 4A** muestra que la aplicación del patrón de difracción diseñado apropiadamente a la lente de formación de imágenes EDOF prevé que los TFMTF para longitudes de onda múltiples estén bien co-alineados (generalmente se superponen deseablemente), dando un TFMTF total deseado. Este último se muestra en **Fig. 4B**.

[0039] La lente difractiva **18** utilizada para la codificación del perfil de dispersión se simuló como hecha de material PMMA con espesor total, T_{grueso} , determinado como:

$$T_{\text{grueso}} = \frac{\lambda}{n_{\text{pmma}} - n_{\text{aire}}}$$

siendo n_{pmma} y n_{aire} los índices de refracción respectivos. La potencia óptica de tal lente difractiva se determina como la de la lente refractiva plano-convexa que tiene potencia, y en el presente ejemplo es:

$$P_{\text{Dif}} = \frac{(n_{\text{pmma}} - n_{\text{aire}})}{R} = 3.33 \text{ Dioptrías}$$

donde $R = 150 \text{ mm}$ es el radio de la lente refractiva plano-convexa que lleva el patrón difractivo descrito anteriormente. En este ejemplo, la lente difractiva está configurada para aplicación oftálmica considerando la potencia óptica de la lente del ojo.

[0040] Las Figs. 4C y 4D muestran resultados de simulación similares para la lente bifocal donde se agregó un patrón EDOF a la lente difractiva bifocal. Como se puede ver en las figuras, la profundidad de enfoque se extiende alrededor de cada enfoque de la lente bifocal difractiva (adjunta al modelo de ojo) en relación con la profundidad de enfoque estrecha que se ve en las Figs. 1C y 1D.

[0041] Las lentes como se describen en el presente documento se pueden usar en aplicaciones oftálmicas, como una lente para gafas o una lente incorporada como cualquier lente oftálmica adecuada. El término "*lente oftálmica*" se refiere a una lente artificial para usar con el ojo. Las lentes oftálmicas preferidas están hechas de materiales biomédicos adecuados para el contacto con el tejido ocular. El término "*lente oftálmica*" incluye, entre otros, lentes intraoculares (LIO), lentes de contacto y recubrimientos o incrustaciones corneales (lentes intracorneales).

[0042] Se apreciará que se pueden añadir componentes no ópticos en algunas realizaciones de lentes oftálmicas (por ejemplo, en lentes intraoculares, se pueden añadir uno o más hápticos). Las lentes según los aspectos de la presente invención pueden comprender combinaciones de superficies que tienen cualquier forma adecuada (plano, convexo, cóncavo). Las realizaciones ilustradas de lentes tienen solo una zona; sin embargo, otras realizaciones pueden tener múltiples zonas, teniendo las zonas diferentes potencias ópticas.

[0043] En algunas realizaciones, las lentes pueden realizarse como lentes intraoculares adaptadas para proporcionar un movimiento acomodativo. Por ejemplo, una lente de acuerdo con los aspectos de la presente invención se puede usar en una lente acomodativa de elemento dual como se describe en la Patente de EE.UU. N° 6.488.708 expedida el 4 de diciembre de 2002 a Sarfarazi, o una lente acomodativa de un solo elemento como se describe en la Patente de EE.UU. 5.674.282, expedida el 7 de septiembre de 1997 a Cumming.

[0044] Se puede colocar un patrón sobre una superficie de la lente mediante diversas técnicas conocidas en la técnica. Como primer ejemplo, el patrón se puede cortar con torno, grabar con láser o grabar directamente en la superficie de la lente. Como segundo ejemplo, el patrón se puede proporcionar en un molde que tiene una superficie de moldeo para formar la superficie de la lente, en la que el patrón se transfiere al molde durante la fundición de la lente. Por ejemplo, una manera convencional de fabricar lentes de contacto implica moldear una mezcla de monómeros formadores de lentes en un molde de plástico de dos partes. Una parte del molde incluye una superficie de moldeo para formar la superficie de la lente delantera, y la segunda parte del molde incluye una superficie de moldeo para formar la superficie de la lente trasera. La mezcla de monómeros se polimeriza o cura mientras está en el molde de dos partes para formar una lente de contacto. Las partes de plástico del molde se moldean por inyección a partir de una herramienta de metal. Para tal método, el patrón puede ser proporcionado en las herramientas de metal, tal como por torneado, y así transferido a la superficie de la lente de contacto durante la proceso de fundición.

[0045] Habiendo descrito así los conceptos inventivos y una serie de realizaciones ejemplares, será evidente para los expertos en la técnica que la invención puede implementarse de varias formas, y que a dichas personas se les ocurrirán fácilmente modificaciones y mejoras. Por tanto, las realizaciones no pretenden ser limitantes y se presentan únicamente a modo de ejemplo. La invención está limitada únicamente según lo requieran las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procesador óptico (14) para aplicación a un campo de luz que pasa a través de una unidad de lente de formación de imágenes predeterminada (12), comprendiendo dicho procesador óptico:

un primer patrón en forma de regiones espaciadas de diferentes propiedades ópticas que se configura para definir un codificador de fase (16) proporcionando una profundidad de enfoque ampliada que se obtendrá mediante dicha unidad de lente de formación de imágenes;

en el que dicho primer patrón del codificador de fase que proporciona la profundidad de enfoque extendida está configurado para afectar los perfiles de la función de transferencia de modulación de enfoque continuo (TFMTF) para diferentes componentes de longitud de onda de dicho campo de luz de acuerdo con un perfil deseado predeterminado de dicha profundidad de enfoque extendida, teniendo el primer patrón un primer perfil radial de dichas regiones espaciadas de diferentes propiedades ópticas y siendo no difractivas a la luz visible;

caracterizado porque

el procesador óptico comprende un codificador de perfil de dispersión (18) que comprende un segundo patrón, en el que

dicho segundo patrón está configurado de acuerdo con dicha unidad de lente de formación de imágenes y dichos perfiles de TFMTF para diferentes componentes de longitud de onda afectados por dicho primer patrón de acuerdo con dicho perfil predeterminado de la profundidad extendida de enfoque para causar así cambios de perfiles TFMTF para diferentes componentes de longitud de onda para mejorar una superposición de dichos perfiles TFMTF para diferentes componentes de longitud de onda dentro de dicho perfil predeterminado deseado de la profundidad extendida de enfoque,

teniendo el segundo patrón un segundo perfil radial y siendo difractiva a la luz visible; teniendo el primer patrón una frecuencia espacial baja en relación con el segundo patrón.

2. Un procesador óptico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los patrones primero y segundo están situados en una de las superficies frontal y trasera de la unidad de lente de formación de imágenes, con respecto a la dirección de propagación de la luz hacia la unidad de lente de formación de imágenes.

3. Un procesador óptico de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los patrones primero y segundo tienen la forma de relieves primero y segundo de superficie en las superficies delantera y trasera de la unidad de lente de formación de imágenes, respectivamente.

4. Una disposición de lentes de formación de imágenes que comprende una unidad de lentes de formación de imágenes y un procesador óptico asociado con dicha unidad de lentes de formación de imágenes, estando configurado dicho procesador óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

5. Una disposición de lentes de formación de imágenes según la reivindicación 4, en la que la unidad de lentes de formación de imágenes es una lente para gafas.

6. Una disposición de lentes de formación de imágenes según la reivindicación 4, en la que la unidad de lentes de formación de imágenes es una lente oftálmica.

7. Una disposición de lente de formación de imágenes según la reivindicación 6, en la que dicha lente oftálmica es una de las siguientes lentes: una lente de contacto, una lente intraocular o una lente intracorneal.

8. Una disposición de lentes de formación de imágenes de acuerdo con las reivindicaciones 4 a 7, en la que la unidad de lentes está configurada como una lente de un solo foco.

9. Una disposición de lentes de formación de imágenes de acuerdo con las reivindicaciones 4 a 7, en la que la unidad de lentes está configurada como una lente multifocal.

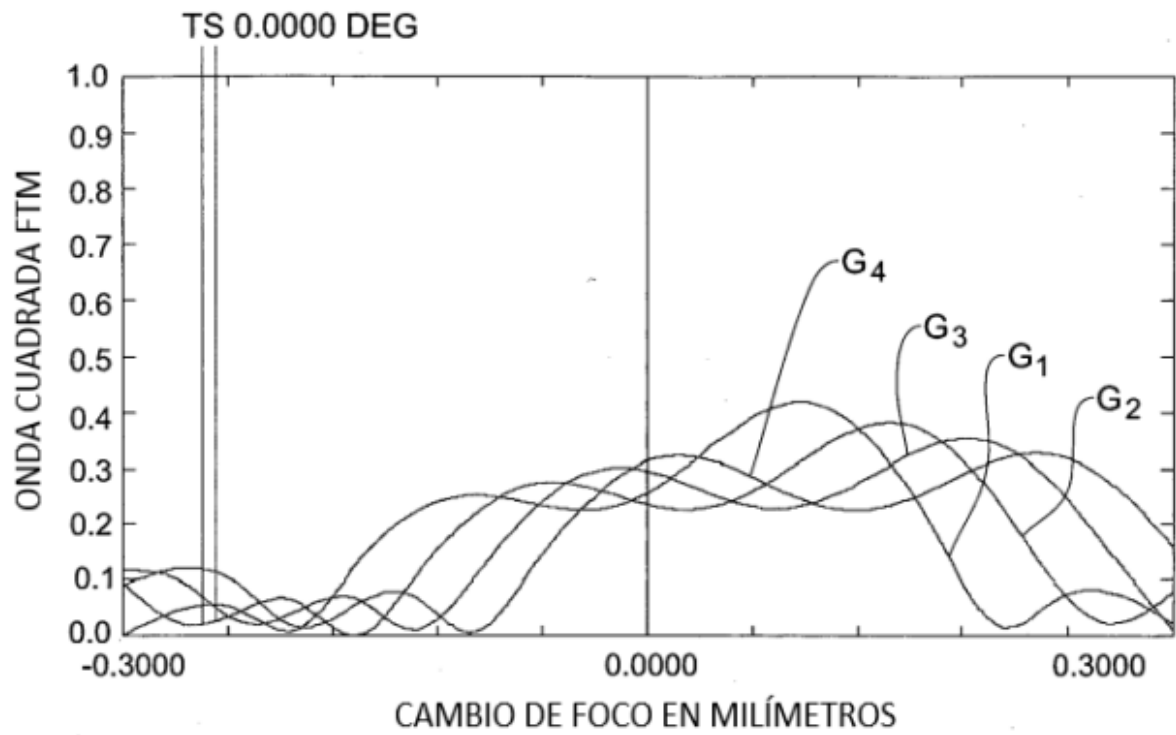


Fig. 1A

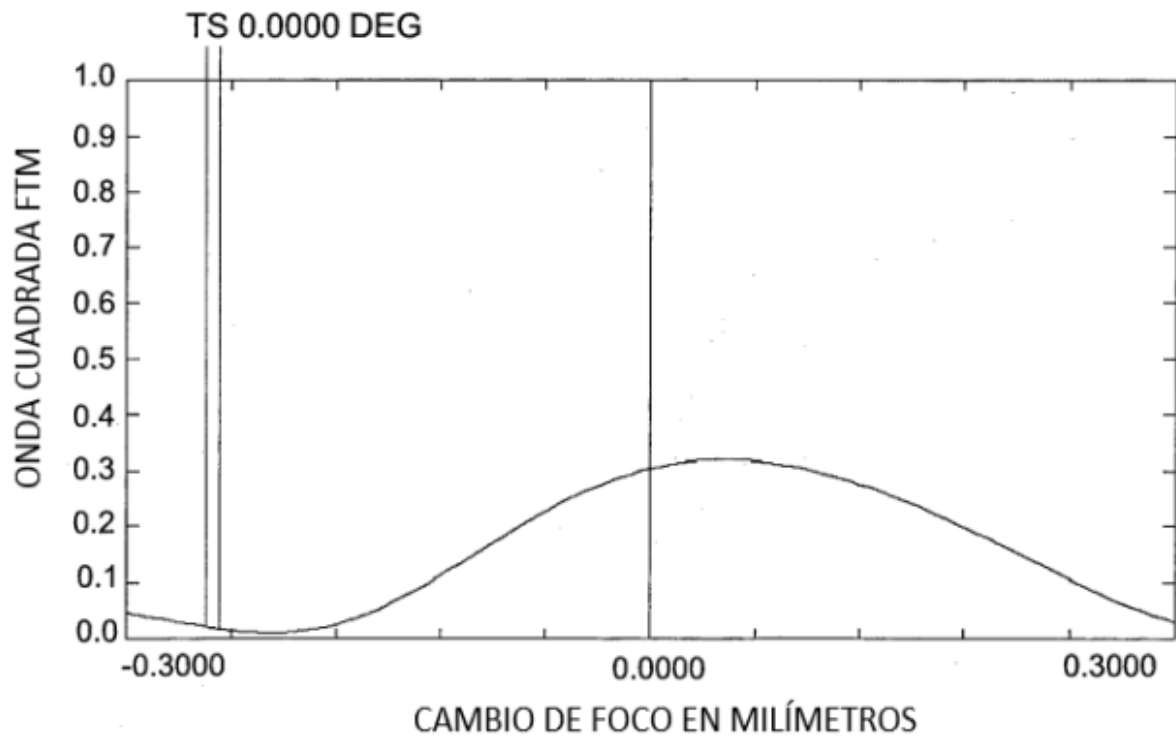


Fig. 1B

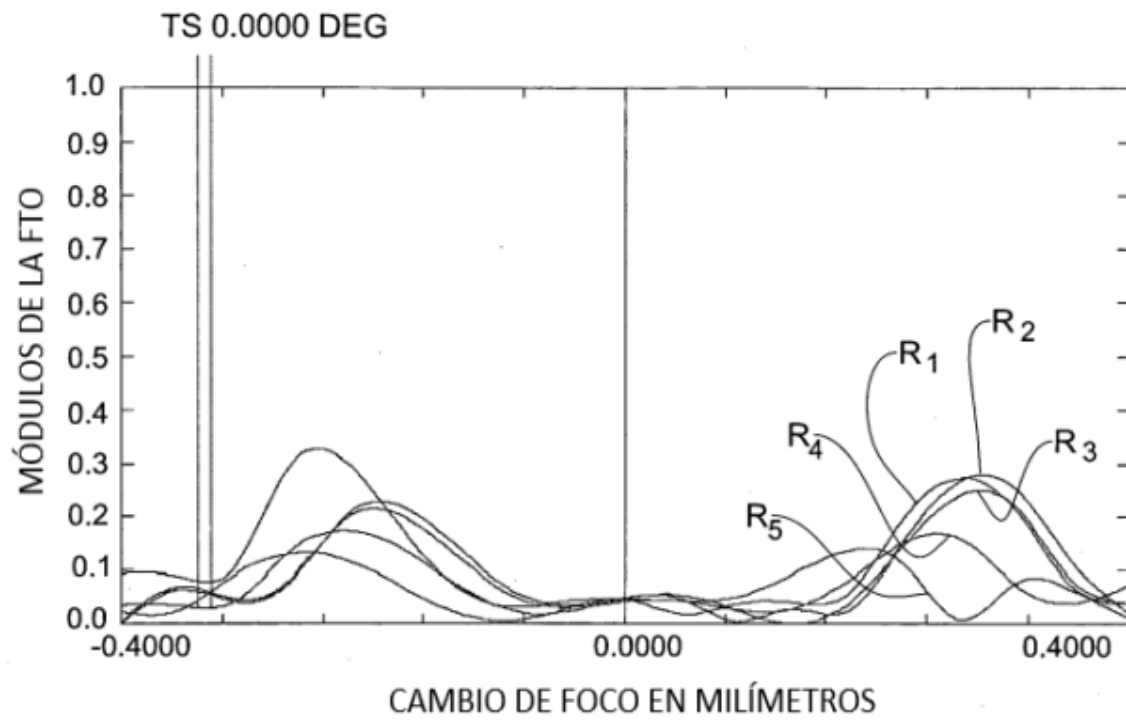


Fig. 1C

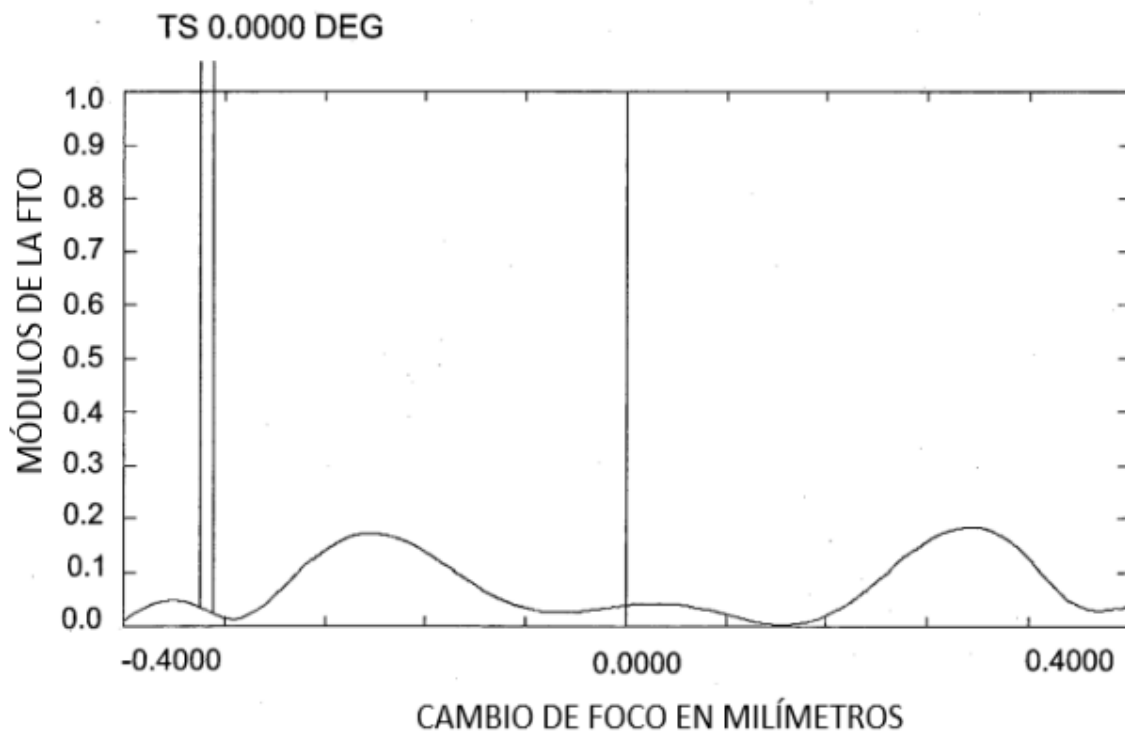


Fig. 1D

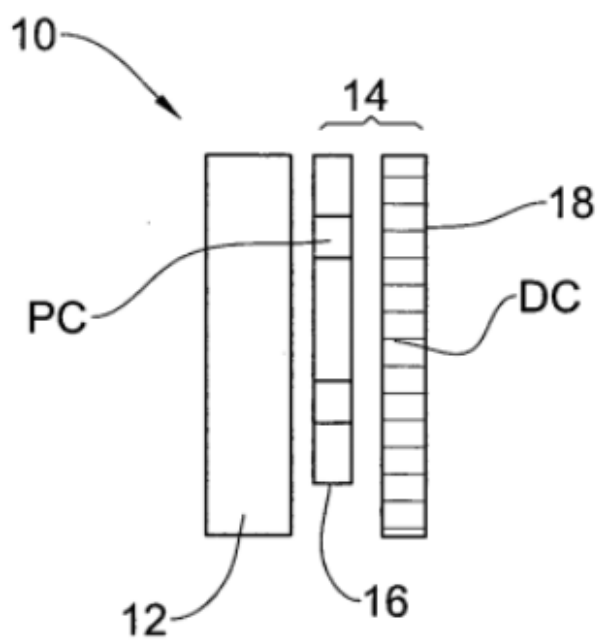


Fig. 2A

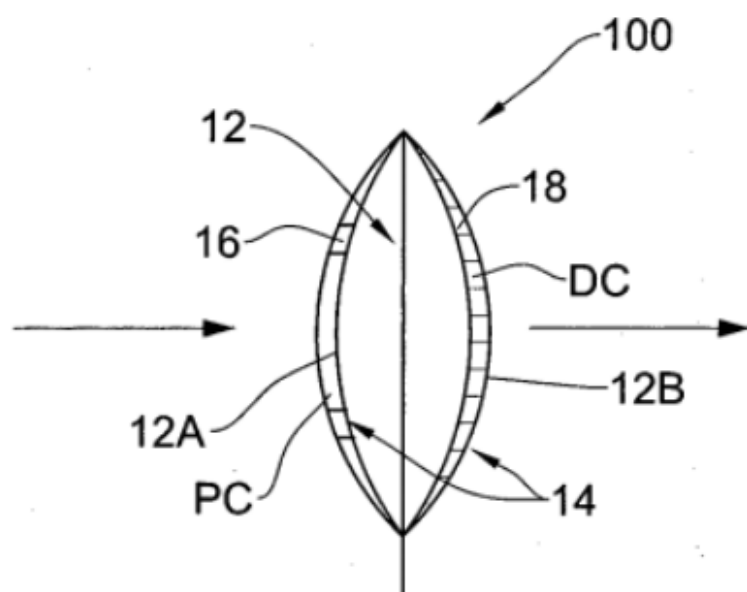


Fig. 2B

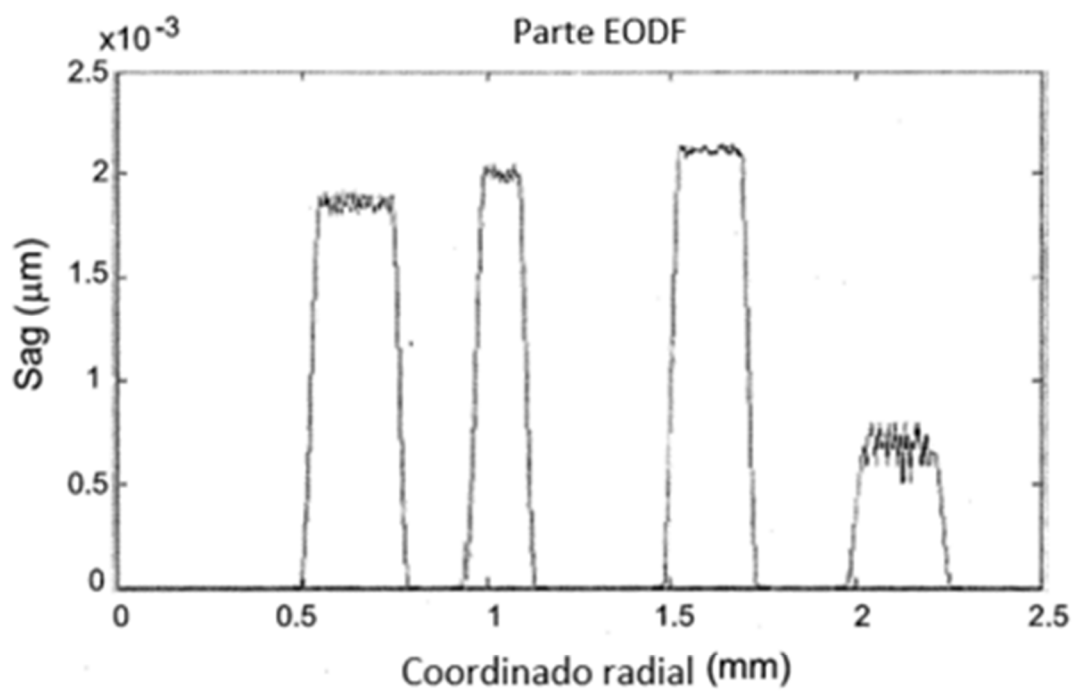


Fig. 3A

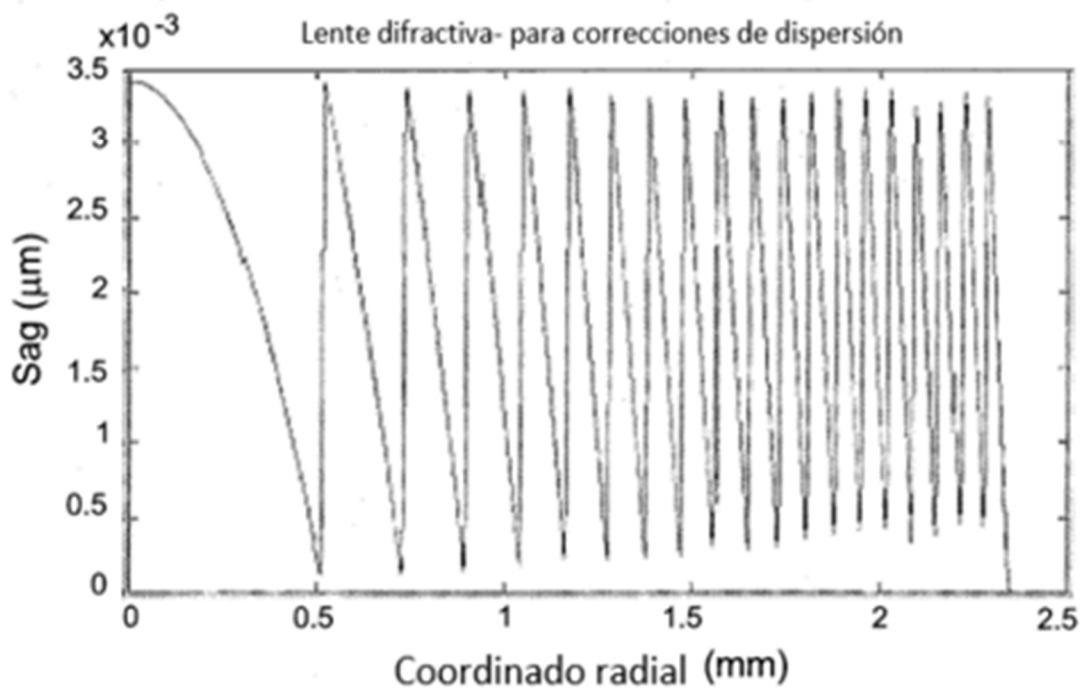


Fig. 3B

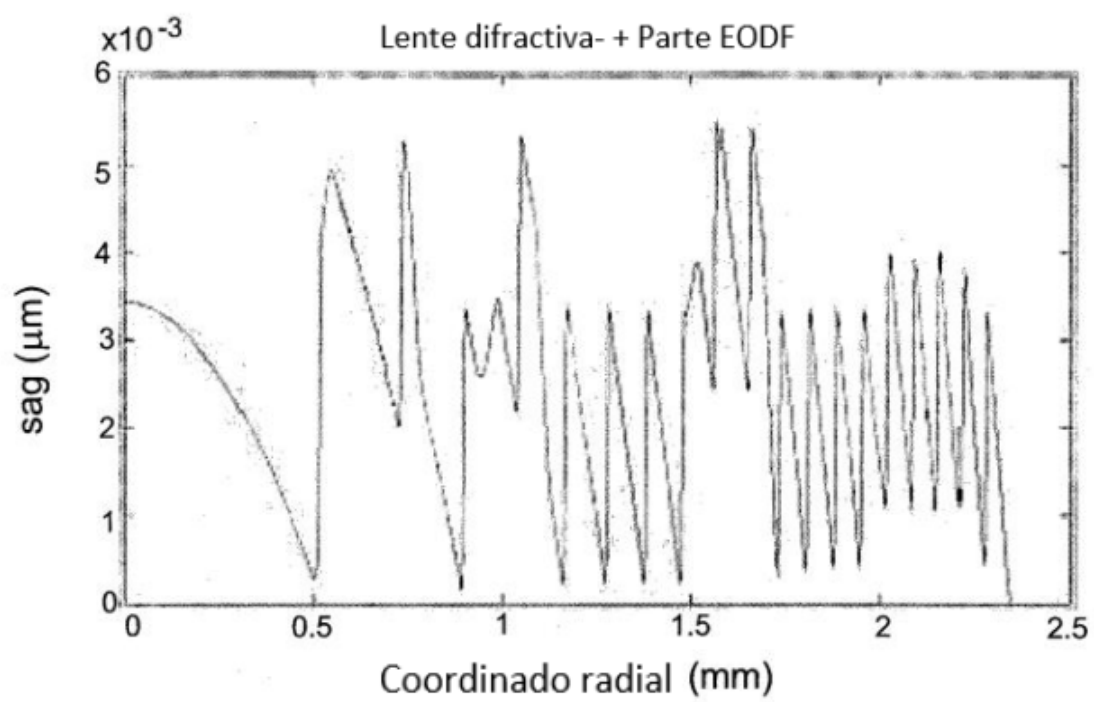


Fig. 3C

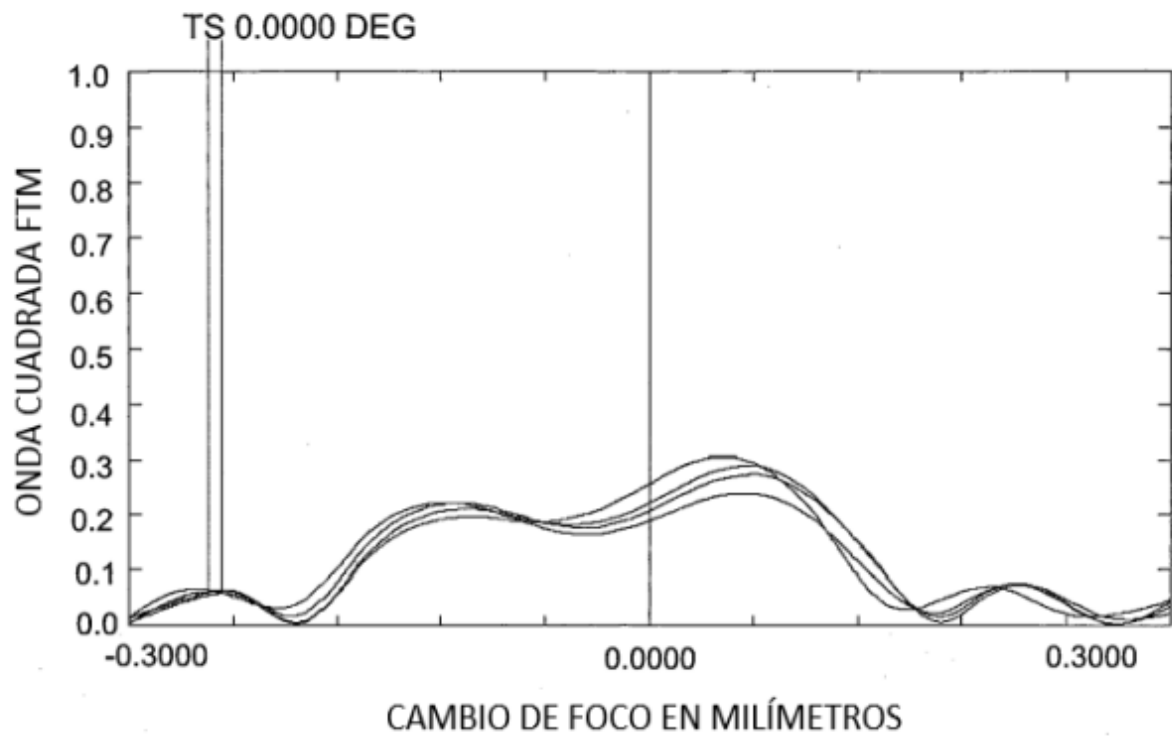


Fig. 4A

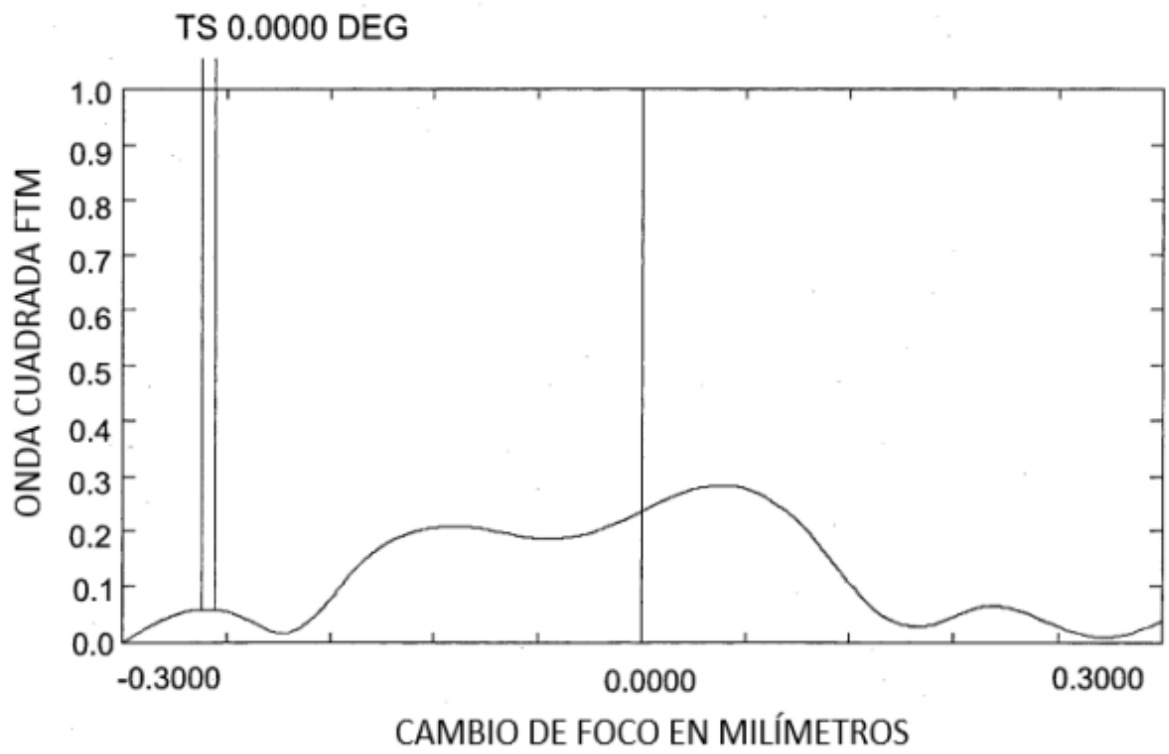


Fig. 4B

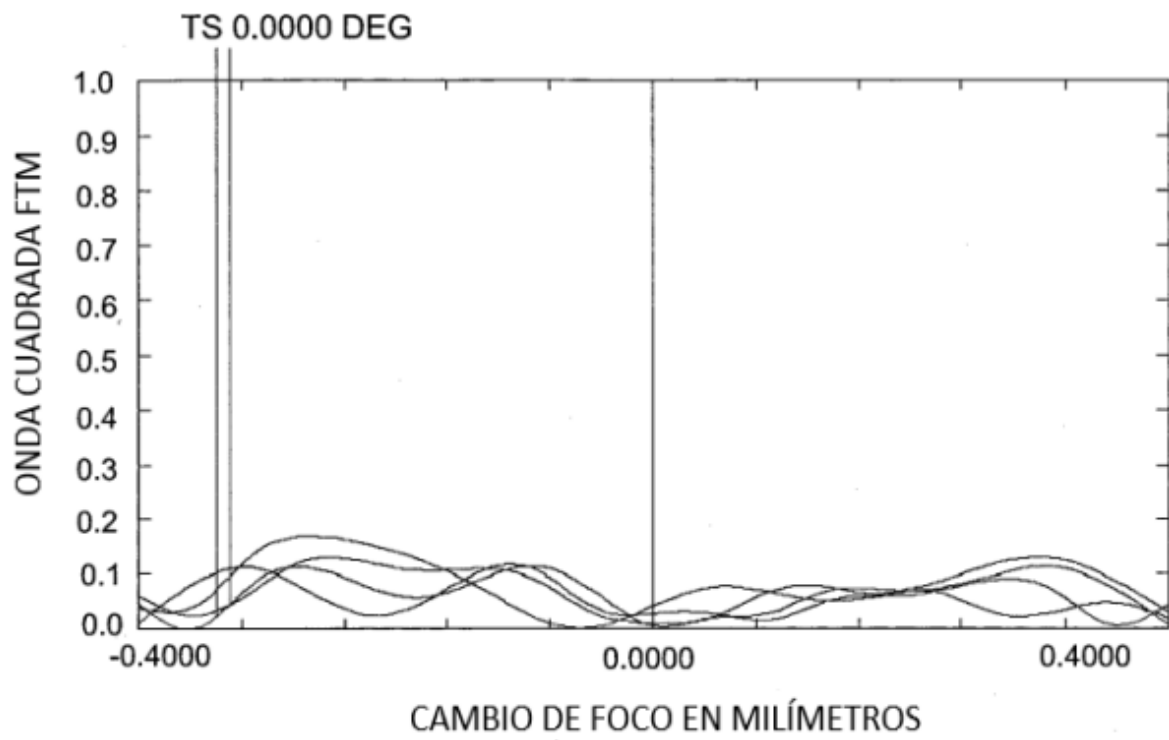


Fig. 4C

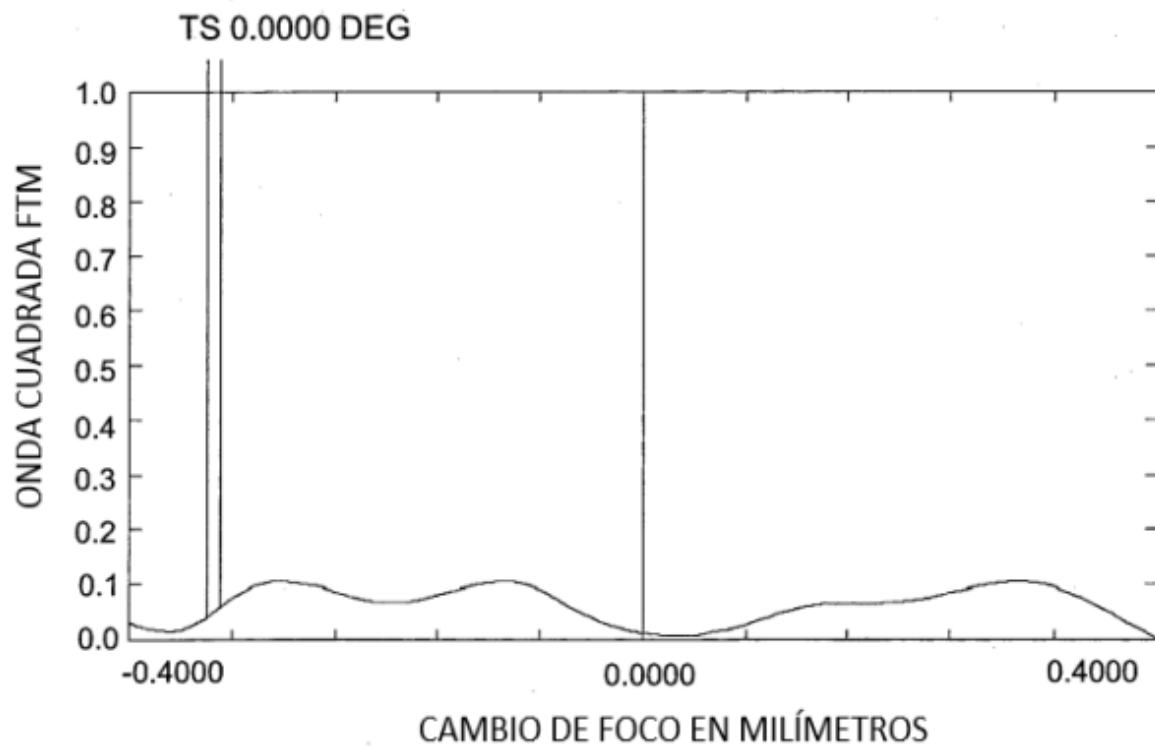


Fig. 4D