

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 513**

51 Int. Cl.:

G02B 3/00	(2006.01)
G02B 3/08	(2006.01)
G02C 7/02	(2006.01)
G02C 7/04	(2006.01)
G02C 7/06	(2006.01)
G02B 27/00	(2006.01)
G02B 27/42	(2006.01)
G02B 5/18	(2006.01)
A61F 2/16	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.02.2011 PCT/IL2011/000140**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2011 WO11099001**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2011 E 11705702 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.07.2018 EP 2533723**

54 Título: **Lentes Multifocales**

30 Prioridad:

09.02.2010 US 302588 P

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

18.10.2018

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;
BEN-YAISH, SHAI;
LIMON, OFER y
RAVEH, IDO**

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 686 513 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

Lentes Multifocales

5 CAMPO DE LA INVENCION

Esta invención generalmente se encuentra en el campo de las técnicas de formación de imágenes totalmente ópticas, y se refiere a una lente multifocal de formación de imágenes.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Para varias aplicaciones se requiere extender la profundidad de enfoque de los sistemas de formación de imágenes, incluyendo, entre otras, aplicaciones médicas, como sistemas endoscópicos, gafas, y lentes oftálmicas. Se han desarrollado varias técnicas para extender la profundidad de enfoque de una lente de formación de imágenes.

Por ejemplo, la técnica anterior desarrollada por el inventor de la presente solicitud proporciona extender la profundidad del enfoque de una unidad de lente de formación de imágenes aplicando una codificación de fase a la apertura efectiva de la unidad de lente de formación de imágenes. Varias características de esta técnica se describen, por ejemplo, en las siguientes patentes y solicitudes de patente publicadas: US 7.365.917; US 7.061.693; US 2009/074239; US 2009/116096; US 7.646.549, todas asignadas al cesionario de la presente solicitud. Esta técnica cuando se utiliza en gafas o lentes oftálmicas puede servir como una alternativa al enfoque de lentes bi- o multifocales convencionales para pacientes que padecen presbicia (es decir, diferentes potencias dióptricas para distancia y visión lectora), donde se logra una profundidad de enfoque extendida deseable con la unidad de lente de enfoque simple.

Varias configuraciones de lentes multifocales se describen, por ejemplo, en las siguientes patentes y solicitudes de patente publicadas:

La US 5.682.223 describe una lente de anillo anular concéntrico multifocal en la que una de las superficies delantera y trasera de la lente define un área central que comprende un disco circular que tiene una superficie esférica correspondiente a una potencia óptica de distancia esférica de prescripción Rx básica. Una pluralidad de anillos anulares rodean el área central y tienen potencias ópticas esféricas cercanas y a distancia alternas, y por lo menos un anillo anular de potencia óptica intermedio. El anillo anular de potencia óptica inmediata está localizado en la región media o exterior de la zona óptica de la lente, y su potencia óptica es intermedia a la las potencias ópticas a distancia y cercana, para proporcionar agudeza visual a distancias intermedias. El anillo anular de potencia óptica intermedia se puede colocar en cualquier lugar en la región media o exterior de la zona óptica de la lente, y puede ser el segundo anillo anular desde el borde exterior de la zona óptica de la lente, o puede ser el anillo anular más externo que define la circunferencia exterior de la zona óptica de la lente. La lente puede ser una lente de contacto para usar en la córnea del ojo, como una lente de contacto de hidrogel blanda, o puede ser una lente intraocular.

La US 5.158.572 describe una lente multifocal que tiene una región central sustancialmente circular que tiene una primera potencia óptica, rodeada por una pluralidad de regiones de anillos concéntricos que alternan entre por lo menos dos potencias ópticas, una de las cuales puede ser la primera potencia óptica. Preferiblemente, la región central está potenciada para visión cercana. Por ejemplo, una realización de la invención es una lente bifocal que tiene una parte de visión cercana central, una primera región de anillo concéntrico potenciada para visión a distancia, y una segunda región de anillo concéntrico que tiene la misma potencia que la región central.

La US 5.198.844 describe una lente refractiva multifocal para enfocar luz sobre la retina del ojo y un método para hacer la lente. La lente está compuesta por una pluralidad de segmentos, segmentos alternados que tienen diferentes potencias ópticas, por lo menos para visión a distancia y otra para cerca. La lente de la invención no requiere orientación para producir una visión lejana y cercana adecuada y un efecto estereoscópico normal. Uno o ambos de los segmentos que tienen las potencias ópticas pueden tener una superficie de lente asférica. Preferiblemente, la lente tiene por lo menos una superficie de lente asférica y los segmentos están divididos por una trayectoria arqueada que va desde el centro de la lente al borde. Dicha lente se fabrica tomando moldes de lente y cortando los moldes desde el borde a través del centro hasta el borde opuesto a lo largo de una trayectoria predeterminada. Los moldes se cortan de tal manera que los segmentos producidos son intercambiables y pueden ajustarse entre sí para hacer un molde que puede producir la lente de contacto refractiva multifocal mediante moldeado.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Hay una necesidad en la técnica de un nuevo enfoque en la configuración de lentes de formación de imágenes multifocales para proporcionar profundidad de enfoque ampliada de la lente y permitir la formación de imágenes de un objeto desde varias distancias diferentes. Como se ha indicado anteriormente, se requieren lentes

de formación de imágenes con profundidad de enfoque ampliada en varias aplicaciones de formación de imágenes, incluyendo aplicaciones médicas, como gafas y lentes oftálmicas. El término "lente oftálmica" se refiere a una lente artificial para su uso con el ojo, e incluye, por ejemplo, lentes intraoculares (IOL), lentes de contacto, así como lentes intracorneales (ICL), recubrimientos o incrustaciones corneales.

5 La presente invención proporciona una lente multifocal que define un eje óptico y tiene una región de la lente que comprende dos o más zonas de la lente que están configuradas para aplicar dos o más funciones ópticas diferentes a la luz que pasa a través de ellas, es decir, proporcionan dos o más codificaciones de apertura diferentes de la luz. Estas son zonas de dos o más longitudes focales diferentes y codificación de fase diferente (por ejemplo, incluyendo codificación de fase "cero"). En la lente multifocal de la presente invención, las zonas de la lente de diferentes funciones ópticas se distribuyen dentro de la misma región de la lente, en lugar de estar localizadas en regiones espacialmente separadas de la lente como, por ejemplo, en las lentes multifocales disponibles comercialmente en el mercado.

15 De acuerdo con la invención, las zonas de la lente de diferentes funciones ópticas (por ejemplo longitudes focales y posiblemente también codificación de fase) están dispuestas en un patrón entrelazado dentro de la región de la lente común, concretamente dicha región de la lente está modelada con una matriz de zonas de la lente donde las zonas de la lente de una primera función óptica están espaciadas una de otra por una o más zonas de una o más segundas funciones ópticas. De acuerdo con la invención, el patrón entrelazado descrito anteriormente está formado como un relieve superficial en una superficie de la región de la lente, de tal manera que las partes superficiales correspondientes a las zonas de la lente de diferentes funciones ópticas están separadas a lo largo del eje óptico de la lente. El espacio entre las zonas de la lente adyacentes de diferentes funciones ópticas a lo largo de dicho eje óptico es mayor que una longitud de coherencia de luz en el rango de longitud de onda para el que se ha diseñado la lente multifocal (típicamente, luz en el espectro visible). Dicha disposición separada de las zonas de la lente es tal que la luz que pasa a través de zonas de diferentes funciones ópticas añadirá intensidad (amplitud cuadrada) en lugar de campo (amplitud y fase), evitando por tanto la creación de un patrón de interferencia y términos cruzados deseados.

30 La longitud de coherencia para la luz de un cierto rango de longitud de onda se define como la distancia a lo largo de la cual los frentes de onda de la luz permanecen correlacionados durante la propagación de la luz. La longitud de coherencia se ve afectada por el ancho de banda (de las longitudes de onda) de la luz y por el índice de refracción de los medios en la trayectoria de propagación de la luz. Los frentes de onda de dos componentes de luz (por ejemplo, diferentes longitudes de onda) que se propagan a lo largo del mismo eje/trayectoria acumulan fase con tasas ligeramente diferentes. Para una distancia más corta o igual a la longitud de coherencia, las fases de diferentes componentes pueden correlacionarse, pero después de propagarse una distancia más larga que la longitud de coherencia la correlación entre las fases de los diferentes componentes se vuelve muy baja. La longitud de coherencia, ΔZ , de la luz de un cierto rango de longitud de onda se define de la siguiente manera:

$$40 \quad \Delta Z = \frac{c}{n\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

45 donde c es la velocidad de la luz, n es el índice de refracción del medio en el que se propaga la luz, λ es la longitud de onda central para la cual está diseñado el elemento, $\Delta\lambda$ es el ancho de banda de las longitudes de onda y $\Delta\nu$ es el ancho de banda espectral de la luz. Considerando el uso de iluminación con luz blanca, la longitud de coherencia es muy corta (es decir, es igual a varias longitudes de onda solamente). Los frentes de onda separados por una distancia mayor que la longitud de coherencia ya no están correlacionados en fase, es decir, el cambio de fase temporal en los dos frentes de onda varía de manera no correlacionada. Por tanto, la interferencia de los componentes de luz que pasan a través de zonas adyacentes de diferentes funciones ópticas separadas a lo largo del eje óptico a una distancia mayor que la longitud de coherencia se esparce, y efectivamente estos componentes de luz añaden intensidad en lugar de campo, evitando de este modo la formación de un patrón de interferencia.

55 Preferiblemente, la lente multifocal de la invención está configurada de tal manera que dicha región de la lente, que contiene múltiples zonas de la lente de diferentes potencias ópticas, sea sustancialmente no difracting. En otras palabras, un patrón formado por la disposición de las zonas de la lente de diferentes potencias ópticas es sustancialmente no difracting. Debe entenderse que un patrón no difracting es tal que distribuye/propaga la intensidad de la luz que pasa a través de él de una manera sustancialmente uniforme (o en otras palabras, no desvía la luz del orden cero de difracción), lo que es contrario al de un patrón de difracción

60 En algunas realizaciones, dicho patrón no difracting puede crearse haciendo cada una de las zonas de la lente de la lente multifocal de una dimensión física (dentro del plano de la lente) mucho más grande que la longitud de onda media de luz para la que la lente multifocal está diseñada. La dimensión física de las zonas puede ser mayor que la longitud de onda máxima en un rango de longitudes de onda para el que la lente multifocal está diseñada. Cada una de estas zonas de la lente actúa como una apertura efectiva para que la luz pase a través de ellas. La dimensión física de la zona de la lente es tal que una dimensión de la apertura efectiva definida por la zona

no provoca sustancialmente que la luz se difracte. El término "mucho más grande que la longitud de onda" usado en la presente se refiere a una dimensión del orden de unos pocos cientos de longitudes de onda o más. Por ejemplo, en una lente multifocal de la presente invención usada para la luz del espectro visible, la dimensión física de la zona de la lente puede ser de unos pocos cientos de micrómetros.

5 El patrón no difrangible en la región de la lente multifocal puede ser el resultado de una combinación apropiada de lentes refractivas y/o difrangerentes, es decir, una disposición apropiada de las zonas de la lente que son refractivas y/o difrangerentes.

10 En algunas realizaciones de la invención, las zonas de la lente de diferentes funciones ópticas están dispuestas en dicha superficie de la región de la lente de una manera desordenada. Tal disposición desordenada puede conseguirse, por ejemplo, mediante las zonas dispuestas en posiciones aleatorias formando una red mapeada en dicha superficie de lente multifocal, y/o haciendo que dichas zonas tengan una geometría aleatoriamente variable (por ejemplo, tamaño y/o forma de zona). Debe entenderse que dicha disposición de manera
15 desordenada de las zonas de la lente impide además la formación de un patrón de difracción de luz que pase a través de la red completa. En efecto, los frentes de onda que pasan a través de las zonas separadas de la misma longitud focal en dicha región de la lente y que llegan a un punto fuera de un plano de imagen de dicha lente acumulan diferentes fases evitando así la formación de un patrón de interferencia (debido a la falta de condición de Bragg) permitiendo formación de imágenes de alto-contraste. La fase acumulada por frentes de onda de diferentes
20 componentes de luz que pasan a través de zonas separadas de la misma longitud focal cuando llegan a un punto dentro del plano de imagen es sustancialmente igual para todos los componentes de luz, según el principio de Fermat, permitiendo así la creación de imágenes.

25 Preferiblemente, el patrón de superficie en la región de la lente está formado tanto por el relieve superficial de las zonas de la lente de diferentes funciones ópticas dispuestas en la relación descrita anteriormente a lo largo del eje óptico de la lente (es decir, espaciadas una de otra una distancia mayor que la longitud de coherencia de la luz que pasa) y la disposición de manera desordenada descrita anteriormente de dichas zonas a lo largo de dicha superficie de la región de la lente. Tal patrón "combinado" disminuiría adicionalmente los efectos de difracción debido a la decoherencia de los componentes de la luz que pasa a través de zonas de la lente de diferentes
30 funciones ópticas, y debido a diferente fase, acumuladas por la luz que pasa a través de las zonas de la lente de la misma función óptica, en un punto fuera del plano de la imagen de la lente. Preferiblemente, también, la dimensión de la zona de la lente es demasiado grande para provocar efectos de difracción por sí misma.

35 El patrón de superficie ("combinado" o no) puede presentar una máscara óptica formada por regiones de diferentes funciones ópticas. La máscara puede ser integral con la región de la lente, es decir, mediante grabado apropiado de localizaciones separadas dentro de la región de la lente. Alternativa, o adicionalmente, puede diseñarse una máscara óptica para montarla/unirla a la región de la lente, o generalmente en algunas aplicaciones (típicamente, no oftálmicas) localizarla antes o después de que la lente se cierre cerca de la misma. La máscara óptica (incrustada en la lente o unida a la misma) puede comprender dos o más características de diferentes
40 funciones ópticas dispuestas y configuradas como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, la máscara puede incluir regiones separadas de ciertas una o más potencias ópticas distintas de cero espaciadas por regiones de potencia óptica cero, y por tanto cuando se aplican a una lente con potencia óptica dada añade dichas una o más potencias ópticas a la de la lente.

45 Por tanto, de acuerdo con un aspecto amplio de la invención, se proporciona una estructura de lente de formación de imágenes de acuerdo con la reivindicación 1. La disposición de la lente de las zonas de la lente puede definir dos o más patrones diferentes que afectan de manera diferente a la luz que pasa a través de ella. Las características de estos patrones diferentes están dispuestos de la manera entrelazada que forma dicho relieve superficial.

50 La disposición entrelazada de las zonas de la lente de dichas por lo menos dos funciones ópticas diferentes puede ser una disposición desordenada, por ejemplo, una manera aleatoria.

55 Por lo menos algunas de las zonas de la lente pueden tener una dimensión a lo largo de la superficie de la región de la lente mayor que una longitud de onda de luz dentro de dicho rango espectral.

60 La estructura de lente descrita anteriormente puede tener una lente base que tiene una cierta primera función óptica y una máscara óptica formada por una pluralidad de zonas de la lente que tienen por lo menos una segunda función óptica. La máscara óptica está alineada con por lo menos una parte de la lente base definiendo de este modo dicha región de la lente formada por las zonas de la lente de por lo menos dos funciones ópticas diferentes. La máscara puede ser un elemento separado unido o localizado cerca de la lente base; o puede estar incrustado en la lente base, por ejemplo, en forma del relieve superficial grabado en dicha lente base. De acuerdo con la invención dichas por lo menos dos funciones ópticas diferentes definen una longitud focal. Las zonas de la lente de dicha por lo menos una función óptica que define la longitud focal pueden estar formadas por segmentos de
65 por lo menos una lente refractiva; o las zonas de la lente de las diferentes longitudes focales pueden estar formadas

por segmentos de lentes refractivas y difrangentas.

La estructura de la lente de formación de imágenes descrita anteriormente puede formar una lente oftálmica multifocal. De acuerdo con la invención las zonas de la lente están configuradas como segmentos angulares de la región de la lente dispuesta alrededor del eje óptico. Los segmentos angulares incluyen segmentos de dos longitudes focales diferentes dispuestas de la manera entrelazada; estas dos longitudes focales diferentes pueden corresponder a las prescripciones de visión lejana y cercana del paciente, respectivamente.

Las zonas de la lente de las dos longitudes focales diferentes están dispuestas preferiblemente alrededor del eje óptico con simetría radial.

Los segmentos angulares de las diferentes longitudes focales están dispuestos preferiblemente de tal manera que los segmentos angulares de la misma longitud focal comprendan segmentos dispuestos a lo largo de dos ejes perpendiculares, permitiendo de este modo orientar la estructura de la lente de formación de imágenes con respecto a una línea de vista de tal manera que los segmentos vertical y horizontalmente orientados dentro de la región de la lente son aquellos que tienen la longitud focal correspondiente a la visión de campo cercano, y el segmento angular de otras orientaciones con respecto a la línea de visión son aquellos que corresponden a la visión de campo lejano. De acuerdo con la invención la estructura de la lente de formación de imágenes con los segmentos angulares correspondientes a por lo menos dos longitudes focales diferentes está equipada con un codificador de fase que comprende por lo menos una primera y una segunda fase de patrones de codificación asociados con dichas al menos dos longitudes focales diferentes respectivamente para proporcionar profundidad de enfoque extendida para formar imágenes a través de dichos segmentos angulares. El codificador de fase puede ser una máscara de fase separada localizada cerca o unida a la región de la lente a lo largo del eje óptico; o puede ser una máscara de fase integral con la región de la lente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para comprender la invención y ver cómo puede llevarse a cabo en la práctica, se describirán ahora las realizaciones, a modo de ejemplo no limitativo solamente, con referencia a los dibujos acompañantes, en los que:

- La **Fig. 1** ejemplifica esquemáticamente una lente multifocal de acuerdo con la presente invención.
- La **Fig. 2** es un ejemplo de relieve superficial formado en una región de la lente multifocal como se presenta en la presente invención;
- Las **Figs. 3A a 3D** muestran el procedimiento de simulación y el resultado para una estructura de lente bifocal de la presente invención, donde las diferentes zonas de longitud focal se ordenan aleatoriamente en una región de la lente;
- Las **Figs. 4A-4C** muestran los resultados de simulación para las mediciones de la función de dispersión de puntos de la estructura de lente de la Fig. 3B medida en el campo cercano, medio y lejano, respectivamente, de la lente;
- Las **Figs. 5A-5C** muestran los resultados de simulación para una Función de Transferencia de Modulación (MTF) de la estructura de lente de la Fig. 3B, en el campo cercano, medio y lejano, respectivamente, de la lente;
- Las **Figs. 6A-6C** muestran los resultados de simulación de formación de imágenes de un objeto con una resolución de 100 pares de líneas/mm usando la estructura de la lente de la Fig. 3B en el campo cercano, medio y lejano, respectivamente, de la lente; y
- La **Fig. 7** muestra la medición a través de enfoque de MTF de la estructura de lente de la figura 3B;
- La **Fig. 8A** muestra una lente de formación de imágenes multifocal que tiene segmentos angulares con diferente longitud focal; y
- La **Fig. 8B** muestra un ejemplo de una estructura de lente de formación de imágenes multifocal de la Fig. 8A equipada con un codificador de fase para proporcionar profundidad de foco extendida.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

Se hace referencia a la **Fig. 1** que ilustra una lente de formación de imágenes **10** de acuerdo con la presente invención. La lente de formación de imágenes **10** define un eje óptico, y tiene una región de la lente **LR** que está configurada para aplicar una codificación de apertura para la luz que pasa a través de ella. De acuerdo con la presente invención, la codificación de apertura está destinada a aplicar a la luz de entrada dos o más funciones ópticas que afectan de manera diferente a la misma propiedad de la luz, por ejemplo, enfocar la luz desde objetos a diferentes distancias sobre el mismo plano de imagen, y aplicar diferente codificación de fase a la luz. Por tanto, la región de la lente **LR** puede tener una o más longitudes focales, y puede estar formada por lentes difragentes y/o refractivas.

Las diferentes funciones ópticas pueden implementarse en la región de la lente **LR** aplicando a la región de la lente un patrón **P** apropiado. El patrón **P** puede estar en la forma de un cierto relieve superficial en una superficie de la región de la lente, que es una combinación (o múltiplex) de dos o más perfiles superficiales, correspondiendo

cada uno a una o más de dichas funciones ópticas.

Más específicamente, la presente invención se usa con lentes de formación de imágenes multifocales y se describe por lo tanto a continuación con respecto a esta solicitud específica.

Volviendo a la **Fig.1**, la lente de formación de imágenes **10** tiene la región de la lente multifocal **LR** que comprende una pluralidad de zonas de la lente. La pluralidad de zonas de la lente comprende una combinación de zonas de la lente de diferentes longitudes focales con codificación de fase. La pluralidad de zonas de la lente de diferentes longitudes focales está dispuesta en un patrón **P** entrelazado formado sobre la superficie de la región de la lente **LR**.

La disposición de las zonas de la lente de diferentes funciones ópticas (es decir, longitudes focales) es tal que evita la interferencia de los componentes de la luz que pasan a través de zonas de la lente localmente adyacentes de diferentes funciones ópticas y, por tanto, no impide el proceso de formación de imágenes. Alternativa o adicionalmente, la disposición de las zonas de la lente de diferentes funciones ópticas (es decir, longitudes focales) es tal que impide la interferencia de los componentes de la luz que pasan a través de las zonas de la lente de la misma función óptica, y por tanto de nuevo no impide la formación de imágenes. Estos efectos se describirán más específicamente a continuación.

También, preferiblemente, las zonas de la lente están configuradas para evitar la difracción de la luz que pasa a través de cada una de las zonas de la lente. Con este fin, cada zona de la lente tiene una dimensión física (a lo largo de la superficie de la lente) mucho más grande que una longitud de onda media dentro de un rango de longitud de onda de luz para el que está diseñada la región de la lente. La zona de la lente, que define una apertura efectiva, es mucho más grande que la longitud de onda y, por lo tanto, sustancialmente no difracta la luz. Por tanto, el patrón entrelazado se establece para ser sustancialmente no difracting en el sentido de que la luz que pasa a través de la lente se extiende de una manera uniforme y no desvía la luz del orden cero de difracción.

Debe entenderse que la lente multifocal de la invención, implementada como cualquiera de los ejemplos descritos en la presente, puede ser una estructura integral formada por una red de diferentes zonas de la lente incrustadas en una región de la lente (por ejemplo, en la forma de un relieve superficial) o puede estar formada por una máscara colocada en la parte superior de o cerca de la región de la lente de una lente. Si la estructura de lente multifocal utiliza una máscara separada, la última puede configurarse de manera tal que solo las zonas de un grupo tengan una potencia óptica añadida a la de la lente, mientras que las del otro grupo no tengan potencia óptica.

Como se ha indicado anteriormente, de acuerdo con la invención, el patrón entrelazado **P** se forma como un relieve superficial en una superficie de la región de lente **LR**. A este respecto, se hace referencia a la **Fig. 2** que muestra más específicamente el patrón **P** formado dentro de la región de la lente **LR**. Para evitar la interferencia de los componentes de la luz que pasan a través de las zonas de la lente localmente adyacentes, **Z1** y **Z2**, de diferentes funciones ópticas (definiendo diferentes longitudes focales), el patrón **P** es tal que esas zonas de la lente **Z1** y **Z2** están separadas a lo largo de un eje óptico **OA** de la región de la lente **LR** una distancia **d** que es mayor que una longitud de coherencia de luz en el rango de longitud de onda para el que se ha diseñado la región de la lente multifocal, por ejemplo, rango visible. Los componentes de la luz que han pasado a través de las zonas de la lente localmente adyacentes **Z1** y **Z2** separadas a lo largo del eje óptico una distancia mayor que las longitudes de coherencia no se correlacionarán en fase y por lo tanto se añadirán efectivamente en un plano de imagen de la región de la lente en intensidad y no en campo. Los frentes de onda no correlacionados, que añaden eficazmente en intensidad, sustancialmente no crean un patrón de interferencia sino que típicamente forman un punto de luz.

Como se ha indicado anteriormente, la longitud de coherencia, ΔZ , de una fuente de luz se define como sigue:

$$\Delta Z = \frac{c}{n\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

donde c es la velocidad de la luz, n es el índice de refracción del medio en el que se propaga la luz, λ es la longitud de onda central para la cual está diseñado el elemento, $\Delta\lambda$ es el ancho de banda de las longitudes de onda y $\Delta\nu$ es el ancho de banda espectral de la fuente de luz. Para la luz del espectro visible, el ancho de banda es relativamente grande y la longitud de coherencia es típicamente inferior a 1 micra. La longitud de coherencia de la luz blanca es básicamente del orden de la longitud de onda media. La distancia entre zonas adyacentes, a lo largo del eje óptico, puede ser, por lo tanto, del orden de varias micras.

Volviendo a la **Fig. 2**, la región de la lente **LR** puede ser una lente bifocal. El patrón **P** está formado como un relieve superficial en la superficie de la lente **11**. Las zonas **Z1** y **Z2** de dos longitudes focales diferentes $f1$ y $f2$ están dispuestas de una manera entrelazada dentro de la superficie de la lente, y están dispuestas en una relación

separada a lo largo el eje óptico **OA** de la lente de tal manera que la distancia **d** entre las zonas de la lente localmente adyacentes **Z1** y **Z2** de diferente longitud focal es mayor que una longitud de coherencia de luz del rango de longitud de onda para el que está diseñada la lente. Por ejemplo, la distancia **d** puede ser de aproximadamente un milímetro, o de unos pocos cientos de micras.

5 Tal región de la lente **LR** como se ejemplifica en la **Fig. 2** puede proporcionar formación de imágenes de un objeto sobre dos o más planos de imagen diferentes a distancias determinadas por las dos o más longitudes focales respectivamente, o puede proporcionar formación de imágenes de diferentes objetos, que están a diferentes distancias de la lente, sobre el mismo plano de imagen. Por ejemplo, la luz que pasa a través de las zonas **Z1** de la región de la lente producirá una imagen de un objeto que está a una longitud focal de ajuste de distancia f_1 en el plano de la imagen, mientras que la luz que pasa a través de las zonas **Z2** producirá una imagen del objeto que está a una longitud focal de ajuste de distancia f_2 en el mismo plano de imagen. En el plano de la imagen, los componentes de la luz que han pasado a través de las zonas localmente adyacentes de diferentes focos añaden intensidad en lugar de campo debido a la decoherencia de los componentes de la luz.

15 Preferiblemente, como se ejemplificará a continuación, las zonas de la lente de diferentes longitudes focales pueden disponerse de manera desordenada. Esta disposición desordenada (por ejemplo, aleatoria o aperiódica) de las zonas de la lente dentro de la superficie de la región de la lente puede usarse además de la disposición separada anteriormente descrita a lo largo del eje óptico de la región de la lente. Si las zonas de la lente de diferentes longitudes focales están dispuestas de manera desordenada, esta disposición desordenada de las zonas de la lente eliminaría o por lo menos reduciría significativamente la formación de interferencia, que aparecería de otro modo como resultado de efectos (como difracción de Bragg) provocados por el paso de la luz a través de un patrón periódico.

25 Considerando la red de las zonas de la lente en forma de un relieve superficial en la superficie de la región de la lente (por ejemplo, la disposición de la Fig. 2), debe tenerse en cuenta lo siguiente. En algunas aplicaciones oftálmicas es necesario que la superficie de una lente oftálmica sea plana para evitar la estimulación del ojo. Con este propósito, la superficie del patrón de las zonas de la lente puede cubrirse con un sustrato transparente para llenar los huecos a lo largo del eje óptico. El sustrato transparente se selecciona apropiadamente para una lente dada, de tal manera que sus efectos (por ejemplo, potencia óptica) sobre las longitudes focales de la lente multifocal se compensan con las longitudes focales elegidas de las diferentes zonas de la lente de la lente.

35 Para formar una disposición de zonas de las lentes de diferentes funciones ópticas, por ejemplo longitudes focales, pueden combinarse apropiadamente varias (por lo menos dos) lentes diferentes en una cierta disposición espacial. Por ejemplo, consideremos el caso del diseño de una región de la lente bifocal, donde una lente tiene una potencia óptica correspondiente a 57 dioptrías (longitud focal de 17,5 mm) y la otra lente tiene una potencia óptica correspondiente a 59,5 dioptrías (longitud focal de 16,8 mm). Cada una de estas dos lentes se divide en múltiples zonas, y los dos grupos así obtenidos de zonas diferentes se distribuyen de una manera entrelazada, por ejemplo, ambos grupos incluyendo el mismo número de zonas. Las zonas de la lente pueden tener cualquier geometría (rectángulos, triángulos, etc.), similares o no. Cada segmento espacial de la región de la lente está ocupado aleatoriamente con una zona de la lente del primer grupo (primera lente) o del segundo grupo (segunda lente). Como resultado, una región de la lente de la lente multifocal "combinada" así obtenida tiene una porción (formada por zonas discretas) ocupada por la primera lente y el resto ocupado por la segunda lente.

45 Debe entenderse que puede obtenerse una región de la lente similar usando una lente base de una longitud focal y creando/colocando sobre una superficie de la misma una máscara formada por regiones/zonas separadas de una o más de otras lentes de longitud(es) focal diferente. Por ejemplo, para obtener una lente que tenga la región de la lente bifocal mencionada anteriormente, es decir, 57 y 59,5 dioptrías, puede usarse una lente con la potencia óptica correspondiente a 58 dioptrías como una lente base y una máscara formada por segmentos discretos de dos lentes: una lente de enfoque de 1,5 dioptrías y una lente difusora de (-1) dioptrías. También, puede seleccionarse una lente base para tener una potencia óptica correspondiente a 57 dioptrías y añadir una máscara formada por zonas separadas de una lente con la potencia óptica de 2,5 dioptrías espaciadas por zonas de potencia óptica cero, es decir,, por tanto dando como resultado zonas de la potencia óptica de la lente base (es decir 57 dioptrías).

55 Lo siguiente es un ejemplo de simulación del diseño de una lente bifocal con los parámetros anteriores, es decir, teniendo zonas de potencia óptica correspondientes a 57 dioptrías (longitud focal de 17,5 mm) y zonas de potencia óptica correspondientes a 59,5 dioptrías (longitud focal de 16,8 mm). Debe observarse, aunque no se muestra específicamente, que esta realización puede combinarse o no con los principios de la realización de la Fig. 2 (es decir, la disposición separada de las zonas de la lente a lo largo del eje óptico de la lente con una distancia mayor que la longitud de coherencia).

60 En este ejemplo, se selecciona una lente base refractiva con la potencia óptica correspondiente a 57 dioptrías, y luego se forma una máscara sobre ella a partir de segmentos de una lente difracting que tiene una potencia óptica de 2,5 dioptrías. El procedimiento de simulación y los resultados se ilustran en las **Figs. 3A a 3D**. La **Fig. 3A** muestra la curvatura de la superficie de una lente difracting **L1** que corresponde a una potencia óptica de

2,5 dioptrías y que tiene una longitud focal f_1 . Debe entenderse que el patrón de nivel de gris corresponde a la variación del grosor (altura) de la lente de acuerdo con la curvatura. Esta lente **L1** se puede dividir en múltiples segmentos de diferentes o iguales dimensiones y/o formas, y estos segmentos colocarse entonces sobre la lente base de forma desordenada separados por segmentos de la lente base (o, por ejemplo por segmento de otro sustrato transparente de potencia óptica cero). Por tanto, la región de la lente bifocal **LR** se crea a partir de la lente base que lleva un mapa de zonas geométricas multiplexadas aleatoriamente de la lente **L1** espaciadas por zonas de la lente base. En algunas realizaciones, los espacios entre las zonas de la lente **L1** se presentan mediante una placa transparente simple sin potencia óptica.

Las **Figs. 3B y 3C** muestran dos ejemplos de una máscara formada por segmentos discretos distribuidos aleatoriamente **Z1** de la lente **L1** colocados sobre y por tanto separados por un sustrato de potencia cero transparente **Z2**. Por tanto, la máscara es un patrón de zonas de la lente de cierta longitud focal f_1 (o generalmente diferentes longitudes focales n) dispuestas de una manera entrelazada separada. Aquí, la manera entrelazada se implementa por distribución desordenada o aperiódica (por ejemplo, aleatoria) de las zonas de la lente. Tal disposición desordenada (aleatoria) de las zonas de la lente elimina, o por lo menos reduce sustancialmente, los efectos de difracción de la lente como se ha descrito anteriormente.

El patrón de máscara corresponde por tanto a una lente no difracting. El número de longitudes focales en la máscara, o en toda la región del lente completa obtenida colocando la máscara sobre una lente base, y los valores de longitud focal pueden corresponder con la distribución de potencia óptica para visión lejana y cercana tal como se ha prescrito para un paciente específico. La manera desordenada de las zonas de la lente está dirigida a disminuir la interferencia formada por la interacción de los componentes de la luz que pasan a través de las zonas de la lente separadas de la misma longitud focal. Las trayectorias ópticas para los componentes de la luz que interactúan procedentes de diferentes zonas de la misma longitud focal son diferentes, y por consiguiente la fase acumulada por estos componentes de la luz es diferente. Por lo tanto, no hay una interferencia constructiva o destructiva completa de los componentes de la luz que interactúan para cualquier otro punto que no sea el punto focal, es decir, el punto en un plano de imagen. El hecho de que las zonas de la lente estén dispuestas de una manera aperiódica reduce los patrones de difracción, como la difracción de Bragg, provocados y mejorados por estructuras periódicas.

Como se ha indicado anteriormente, la región de la lente de patrón desordenado puede crearse dividiendo dicha región de la lente en zonas. Cada una de dichas zonas se trata para proporcionar una cierta longitud focal de acuerdo con una variable aleatoria con una distribución seleccionada de tal manera que satisfaga un factor de llenado deseado de la lente para dicha longitud focal. El factor de llenado deseado puede ser tal que la intensidad de la luz se divide entre las dos o más potencias ópticas uniformemente, o de tal manera que una potencia óptica afectará a una porción más grande de la intensidad de la luz que una o más de otras potencias ópticas. Las **Figs. 3B y 3C** muestran dos ejemplos de la región de la lente de patrón desordenado (máscaras) con diferentes factores de llenado, respectivamente. En las figuras, las zonas **Z1** corresponden a regiones de la lente con una longitud focal f_1 , y las zonas **Z2** corresponden a regiones sin potencia óptica. Cuando dicha máscara se coloca en una lente base de longitud focal f_2 (no mostrado aquí), estas regiones **Z2** corresponderían a las de la longitud focal f_2 . Por tanto, la red de zonas de la lente (es decir, el patrón sobre la superficie de la lente) en una región de la lente combinada así obtenida tiene dos grupos, un grupo que incluye una disposición desordenada separada de zonas **Z1** y el otro grupo que incluye distribución desordenada de zonas de la lente **Z2**. En esta simulación, las zonas de la lente **Z1** son zonas de una lente difracting con longitud focal f_1 , mientras que las zonas de la lente **Z2** son partes que estarían alineadas con una lente refractiva con longitud focal f_2 . La **Fig. 3B** muestra una lente en la que las zonas de la lente que tienen diferentes longitudes focales se distribuyen aleatoriamente pero uniformemente a lo largo de la región de la lente, de una manera que el factor de llenado de la lente bifocal es 50:50. Esto significa que la mitad de la energía óptica que pasa a través de la región de la lente se transfiere a través de las zonas **Z1** y la mitad de la energía se transfiere a través de las zonas **Z2**. Esto proporciona una lente bifocal (generalmente multifocal) donde la energía transmitida se divide uniformemente entre las dos (o generalmente dos o más) potencias ópticas de la lente. La **Fig. 3C** muestra una región de la lente en la que el factor de llenado es 70:30. Las zonas de la lente están dispuestas de manera que el 70 por ciento del área de la lente bifocal está cubierto por zonas **Z1**, y el 30 por ciento está cubierto por zonas **Z2**, de una manera que la mayoría de la energía se recoge del plano del objeto por el grupo de zonas de lente **Z1** grupo de zonas, en lugar de estar distribuido de manera uniforme entre los grupos.

En la realización preferida de la presente invención, se forma una pluralidad de zonas de la lente como un relieve superficial sobre la superficie de una región de la lente multifocal. El relieve superficial es tal que las zonas de la lente también están dispuestas en el patrón entrelazado desordenado descrito anteriormente y también las zonas de la lente de las diferentes longitudes focales están separadas a lo largo del eje óptico de la lente una distancia mayor que la longitud de coherencia de la luz a un rango de longitud de onda para el que la lente está diseñada. Esta disposición proporciona que la luz que pasa a través de zonas de diferentes longitudes focales no está correlacionada en fase, y la forma desordenada de las zonas de la lente de la misma longitud focal disminuye los efectos de interferencia.

La **Fig. 3D** ilustra una vista tridimensional de la máscara óptica de la **Fig. 3B** para ser colocada en una región de la lente de una lente base (no mostrada). La máscara se configura a partir de la disposición aleatoria de

las zonas de la lente **Z1** y **Z2**. En esta figura, las zonas **Z1** son zonas de una lente refractiva **L1** con longitud focal f_1 , y las zonas **Z2** son las de un sustrato ópticamente transparente que no tiene potencia óptica. Como se muestra en la figura, la disposición de las zonas de la lente **Z1** está en la forma de un relieve superficial tal que están separadas entre sí por zonas **Z2** a lo largo de la superficie del sustrato y también de manera que las zonas **Z1** y **Z2** están espaciadas a lo largo de un eje óptico de la lente **L1**. Preferiblemente, esta distancia a lo largo del eje óptico es mayor que una longitud de coherencia de luz como se ha descrito anteriormente. Para un espectro visible, la distancia a lo largo del eje óptico es mayor que de 0,5 o 1 micra. La distancia puede ser del orden de varias micras, y puede ser tan grande como algunos cientos de micras. La máscara de la lente multifocal mostrada en la **Fig. 3D** puede colocarse sobre la superficie de una lente base de enfoque único para proporcionar una disposición de lente multifocal.

Se hace referencia ahora a las **Figs. 4A a 6C** que muestran resultados de simulación para la disposición de lente multifocal anteriormente descrita donde la máscara de la **Fig. 3E** formada por segmentos de una lente difractinge con potencia óptica de 2,5 dioptrías se coloca en la parte superior de una lente de enfoque único "ideal" con longitud focal de 17,5 mm. La disposición de lente combinada forma una región de la lente multifocal con longitudes focales de 17,5 mm y 16,8 mm.

Las **Figs. 4A a 4C** muestran las mediciones de la función de dispersión de puntos (PSF) para la disposición de lente multifocal. Las figuras muestran la PSF de la disposición de lente para distancias de campo cercano (**Fig. 4A**, 410 mm), campo de distancia intermedia (**Fig. 4B**, 850 mm) y campo lejano (**Fig. 4C**) de la lente. Estas figuras presentan realmente imágenes de una fuente de luz tipo punto localizada a diferentes distancias de la disposición de lente de formación de imágenes multifocal. Como se muestra en las **Figs. 4A y 4C**, para tanto las distancias de campo cercano como las distancias de campo lejano, la disposición de lente proporciona una imagen enfocada de la fuente de luz tipo punto. Sin embargo, la **Fig. 4B** muestra que a algunas distancias de la lente un objeto podría verse desenfocado. Además, en las tres figuras, no se observan patrones de difracción o interferencia. Tales patrones podrían haber sido causados por una disposición periódica de las diferentes zonas de lente a lo largo de la región de la lente.

Las **Figs. 5A a 5C** muestran las mediciones de la función de transferencia de modulación (MTF) de una imagen de fuente puntual localizada a la distancia de campo cercano (**Fig. 5A**, 410 mm), distancia intermedia (**Fig. 5B**, 850 mm) y distancia de campo lejano (**Fig. 5C**) de la disposición de la lente. De las **Figs. 5A y 5C** puede verse que la MTF correspondiente a cualquiera de los planos focales de la disposición de la lente tiene valores absolutos de 0,1-0,2 a frecuencias espaciales superiores a 20 ciclos por milímetro. Un valor de MTF mayor que 0,1 se corresponde a formación de imágenes con contraste visible y significa que tal imagen es lo suficientemente nítida para que una persona distinga 20 líneas o más dentro de un milímetro. La **Fig. 5B** muestra que para frecuencias espaciales superiores a 20 ciclos por milímetro, los valores de MTF están por debajo de 0,05. Tal caída en los valores de MTF da como resultado una imagen desenfocada, mientras que una amplia difusión de valores más altos de MTF da como resultado una imagen nítida enfocada. Esto corresponde a un comportamiento de una lente bifocal.

Las **Figs. 6A a 6C** muestran tres imágenes de un objeto obtenido usando la lente de formación de imágenes bifocal descrita anteriormente. El objeto se establece a una resolución de 100 pares de líneas por milímetro, presentando la frecuencia espacial más alta del objeto, y se localiza a una distancia de campo cercano (**Fig. 6A**, 410 mm), distancia de campo intermedio (**Fig. 6B**, 850 mm) y distancia de campo lejano (**Fig. 6C**) de la lente de imágenes. Como puede verse en las **Figs. 6A y 6C**, la disposición de lente de formación de imágenes de la invención proporciona formación de imágenes de alto contraste y una imagen enfocada para objetos de campo tanto cercano como lejano. La **Fig. 6B** muestra una imagen desenfocada del objeto, que está ahora localizado a una distancia entre las distancias correctas relacionadas con cualquiera de las longitudes focales de la disposición de la lente.

Se hace ahora referencia a la **Fig. 7**, que muestra una medición de enfoque de paso de MTF (TFMTF) de la disposición de lente descrita anteriormente. Esta medición presenta la naturaleza multifocal de la disposición de la lente de la presente invención presentando dos planos focales a las distancias relevantes de la lente. Los dos planos focales pueden verse como dos colinas en el gráfico, localizadas alrededor de -0,41 y 0,35. La numeración del eje x en el gráfico representa un cambio del plano del detector y representa longitudes focales de 16,8 y 17,5 milímetros.

De acuerdo con la invención, la región de la lente se segmenta en segmentos angulares que tienen diferentes longitudes focales, es decir, de por lo menos dos longitudes focales diferentes. Se hace referencia a la **Fig. 8A** que ilustra un ejemplo de dicha estructura de lente multifocal **10** que tiene una región de la lente **LR** formada por segmentos angulares de diferente longitud focal, dos de tales segmentos angulares **51** y **52** teniendo longitudes focales f_1 y f_2 que se muestran en el figura. En algunas realizaciones, las diferentes longitudes focales corresponden a la visión de campo cercano y lejano según se haya prescrito para un paciente.

Con el propósito de mejorar los procesos de adaptación en el cerebro de un humano, los segmentos angulares de las diferentes longitudes focales están dispuestos de manera entrelazada, y también preferiblemente con simetría radial. El proceso cerebral puede preferir los datos de imágenes de una cierta orientación angular y

suprimir los datos de otras orientaciones angulares, permitiendo por tanto la formación de imágenes nítidas de imágenes desde diferentes planos de objetos. Por lo tanto, preferiblemente, las porciones angulares de la región de la lente LR que tienen diferentes longitudes focales están dispuestas de tal manera que los segmentos/porciones angulares de las mismas longitudes focales incluyen segmentos dispuestos a lo largo de dos ejes perpendiculares. Con tal disposición, la región de la lente puede estar orientada apropiadamente con respecto a una línea de visión (coincidente con el eje óptico cuando la estructura de la lente está en funcionamiento, por ejemplo, siendo una lente de contacto o intraocular), los segmentos angulares correspondientes a la visión de campo cercano están orientados a lo largo de ejes verticales y horizontales, mientras que los segmentos que tienen otras orientaciones angulares con respecto a la línea de visión son los utilizados para distancias de campo lejano. Esta configuración está dirigida a proporcionar formación de imágenes nítidas de texto u otras imágenes impresas a corta distancia del ojo, teniendo en cuenta que las imágenes remotas corresponden típicamente a escenas naturales donde los ejes dominantes no son necesariamente los verticales y horizontales.

La región de la lente puede segmentarse en 8 regiones angulares, es decir, cada región corresponde a 45 grados, donde 4 regiones, que se deben alinear con los ejes horizontal y vertical, se configuran con longitud focal para formación de imágenes de campo cercano y las otras 4 regiones se configuran para formación de imágenes de campo lejano. La región de la lente puede segmentarse en 16 regiones angulares, o a cualquier otro número de segmentos que cubra el rango angular completo de la lente. De acuerdo con la invención tales segmentos angulares que contienen la región de la lente están asociados con un codificador de fase configurado para extender la profundidad del foco para la formación de imágenes. El codificador de fase puede incluir generalmente un patrón de codificación de fase única comúnmente distribuido dentro de los diferentes segmentos de la región de la lente. Cada grupo de segmentos angulares que tienen la misma longitud focal está asociado con un patrón de codificación de fase diferente de dicho codificador de fase para profundidad extendida del ajuste de enfoque con la longitud focal correspondiente. Esto se ejemplifica en la **Fig. 8B**, que muestra una estructura de la lente de formación de imágenes **10** que tiene una región de la lente **LR** formada por una pluralidad de segmentos angulares de dos grupos **51** y **52** que tienen diferentes longitudes focales f_1 y f_2 y dispuestos de manera entrelazada; y un codificador de fase **PC**. El último puede ser o una máscara de fase separada localizada cerca de o unida a la región de la lente o una máscara de fase incrustada o integral con la región de la lente. El codificador de fase **PC** incluye dos o más patrones de fase, correspondientes al número de grupos de segmentos angulares en la región de la lente - dos de tales patrones de codificación de fase **P1** y **P2** en el presente ejemplo. Cada patrón está formado por una o más regiones que afectan a la fase diferentes de las de su entorno. Un ejemplo de un patrón de codificación de fase adecuado se describe en las publicaciones de patente mencionadas anteriormente US 7.365.917; US 7.061.693; US 2009/074239; US 2009/116096; US 7.646.549, todas asignadas al cesionario de la presente solicitud.

Por ejemplo, los segmentos angulares configurados para formación de imágenes de corto alcance (campo cercano) pueden estar asociados con el patrón de codificación de fase que proporciona profundidad de enfoque ampliada correspondiente a 3 dioptrías (o 5 dioptrías o 2 dioptrías), mientras que los segmentos angulares que tienen longitud focal para imágenes a larga distancia puede estar asociados con el patrón de codificación de fase correspondiente a la profundidad de enfoque extendida para 1 dioptría (o $\frac{1}{2}$ dioptría o 2 dioptrías). Esto es para mejorar las capacidades de formación de imágenes, ya que las variaciones pequeñas de rango corto de la distancia exacta de un objeto pueden dar como resultado grandes variaciones del plano de la imagen, mientras que a distancias grandes, incluso grandes variaciones del plano del objeto no dan como resultado movimiento del plano de la imagen.

Por tanto, la presente invención proporciona un enfoque simple y eficaz para lentes de múltiples funciones ópticas, especialmente lentes multifocales. El enfoque multifocal de la invención es totalmente óptico y fácil de implementar y por tanto puede usarse ventajosamente en varios sistemas de formación de imágenes incluyendo aplicaciones oftálmicas. Los expertos en la técnica apreciarán fácilmente que se pueden aplicar varias modificaciones y cambios a las realizaciones de la invención como se han descrito en la presente con anterioridad sin apartarse de su alcance definido en y por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura de lente de formación de imágenes (10) que comprende una región de la lente (LR) que define una apertura efectiva de la estructura de la lente, dicha región de la lente comprendiendo una disposición de zonas de la lente (Z1, Z2) configuradas como segmentos angulares (51, 52) de la región de la lente (LR) dispuestas alrededor del eje óptico (OA) y estando distribuidas dentro de la región de la lente (LR) y comprendiendo zonas (Z1, Z2) de por lo menos dos funciones ópticas diferentes que afectan de manera diferente a la luz que pasa a través de ellas, dichas por lo menos dos funciones ópticas diferentes comprendiendo dos longitudes focales diferentes, dicha región de la lente (LR) teniendo un relieve superficial correspondiente a la disposición de dichas zonas (Z1, Z2) de por lo menos dos funciones ópticas diferentes, dichas zonas (Z1, Z2) estando dispuestas de una manera entrelazada a lo largo de dicha región de la lente (LR) de tal manera que las zonas de la lente (Z1, Z2) adyacentes de diferentes funciones ópticas están separadas entre sí a lo largo de un eje óptico (OA) de la estructura de la lente (10) por una distancia mayor de 1 micra de tal manera que dicha distancia es mayor que una longitud de coherencia de luz de por lo menos un rango espectral para el que está diseñada la estructura de la lente,
- 5 10 15 **caracterizado porque** dicha estructura de lente de formación de imágenes (10) comprende además un codificador de fase (PC), dicho codificador de fase (PC) comprendiendo el primer y el segundo patrones de codificación de fase (P1, P2) asociados con dichas zonas (Z1, Z2) de dos longitudes focales diferentes respectivamente para proporcionar una profundidad de enfoque ampliada para formación de imágenes.
- 20 2. La estructura de lente de la reivindicación 1, en donde dicha región de la lente (LR) comprende dos o más patrones (P) diferentes formados por dicha disposición de las zonas de la lente (Z1, Z2) correspondientes a dichas por lo menos dos funciones ópticas diferentes.
- 25 3. La estructura de lente de la reivindicación 1 ó 2, en donde dichas zonas de la lente (Z1, Z2) de por lo menos dos funciones ópticas están dispuestas de una manera desordenada.
- 30 4. La estructura de lente de la reivindicación 3, en donde dichas zonas de la lente (z1, Z2) de por lo menos dos funciones ópticas están dispuestas de una manera aleatoria.
- 35 5. La estructura de lente de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde por lo menos algunas de las zonas de la lente (z1, Z2) tienen una dimensión a lo largo de la superficie de la región de la lente (LR) mayor que una longitud de onda de luz dentro de dicho rango espectral.
- 40 6. La estructura de lente de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende una lente base que tiene una cierta primera función óptica y una máscara óptica formada por una pluralidad de zonas de la lente (Z1, Z2) que tiene por lo menos una segunda función óptica, dicha máscara óptica estando alineada con por lo menos una parte de la lente base definiendo de este modo dicha región de la lente (LR) formada por las zonas de la lente (Z1, Z2) de dichas por lo menos dos funciones ópticas diferentes.
- 45 7. La estructura de lente de la reivindicación 6, en donde dicha máscara tiene una de las configuraciones siguientes: (i) la máscara es un elemento separado unido a la lente base; (ii) la máscara está incrustada en la lente base.
- 50 8. La estructura de lente de la reivindicación 1, que tiene una de las configuraciones siguientes:
- (a) las zonas de la lente (Z1, Z2) de dicha por lo menos una función óptica que define una longitud focal están formadas por segmentos de por lo menos dos lentes difragentes;
- (b) las zonas de la lente (Z1, Z2) de dicha por lo menos una función óptica que define una longitud focal están formadas por segmentos de por lo menos una lente refractiva;
- (c) las zonas de la lente (Z1, Z2) de longitudes focales diferentes están formadas por segmentos de lentes refractivas o difragentes.
- 55 9. La estructura de lente de formación de imágenes de la reivindicación 1 ó 8, en donde dichas dos longitudes focales diferentes corresponden a las prescripciones de visión de lejos y de cerca de un paciente respectivamente.
- 60 10. La estructura de lente de formación de imágenes de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde las zonas de la lente (Z1, Z2) de las dos longitudes focales diferentes están dispuestas como segmentos angulares (51, 52) alrededor del eje óptico (OA) con simetría radial.
- 65 11. La estructura de lente de formación de imágenes de la reivindicación 10, en donde los segmentos angulares (51, 52) de las diferentes longitudes focales están dispuestos de tal manera que los segmentos angulares (51, 52) de la misma longitud focal comprenden segmentos dispuestos a lo largo de dos ejes perpendiculares, permitiendo de este modo orientar la estructura de lente de formación de imágenes con respecto a una línea de visión de tal manera que los segmentos orientados vertical u horizontalmente dentro de la región de la lente (LR) son aquellos que tienen la longitud focal correspondiente al visión de campo cercano, y el segmento angular de las otras orientaciones con

respecto a la línea de visión son aquellos correspondientes a la visión de campo lejano.

5 **12.** Una lente oftálmica multifocal formada por la estructura de lente de formación de imágenes (10) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, dicha lente oftálmica multifocal estando configurada como una lente intraocular, una lente intracorneal, una lente de gafa, o como una lente de contacto.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

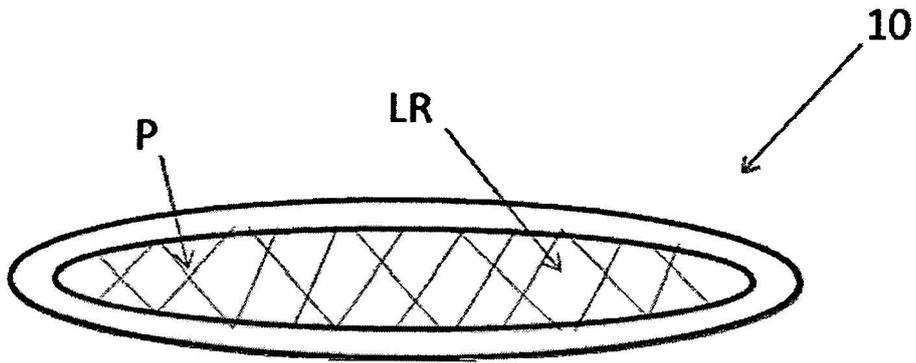


FIG. 1

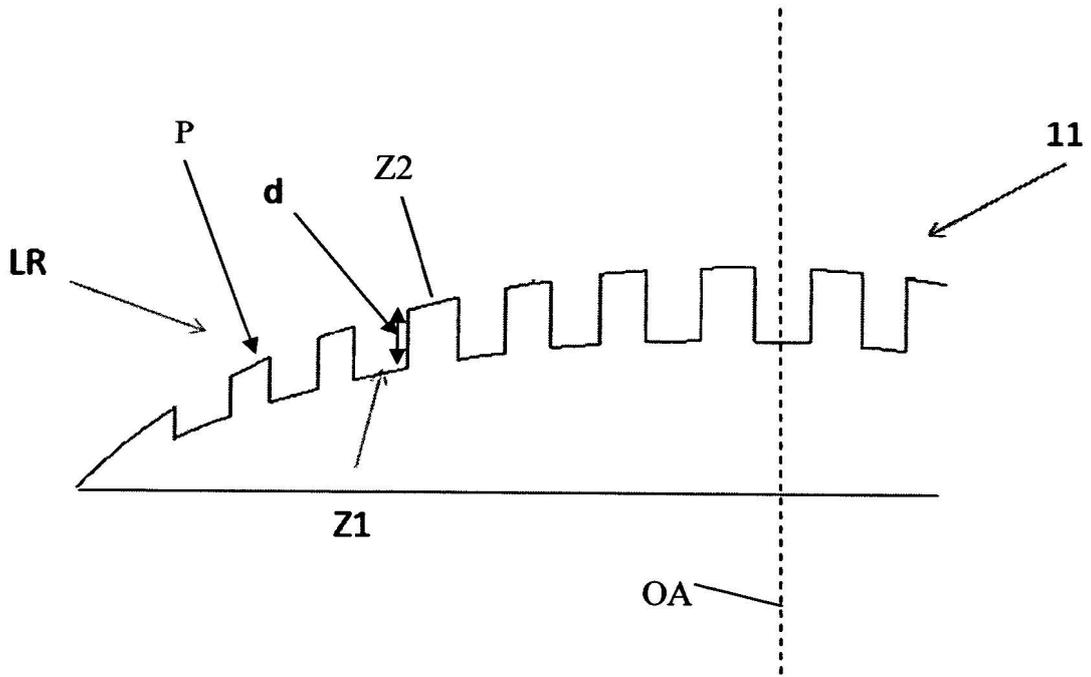


FIG. 2

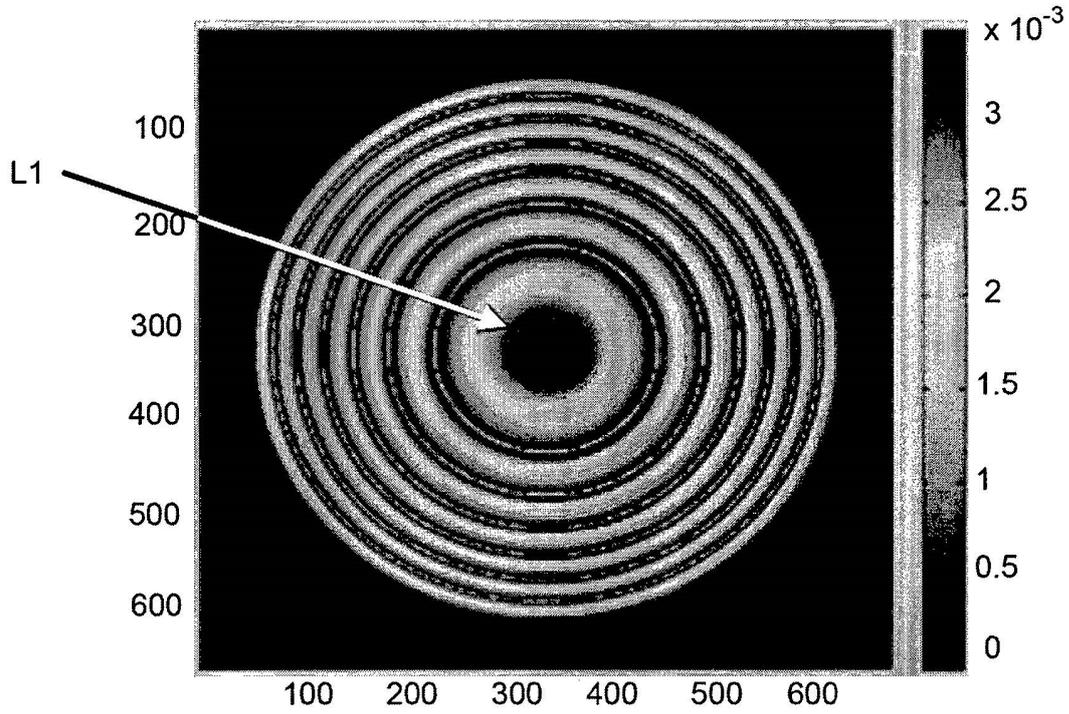


FIG. 3A

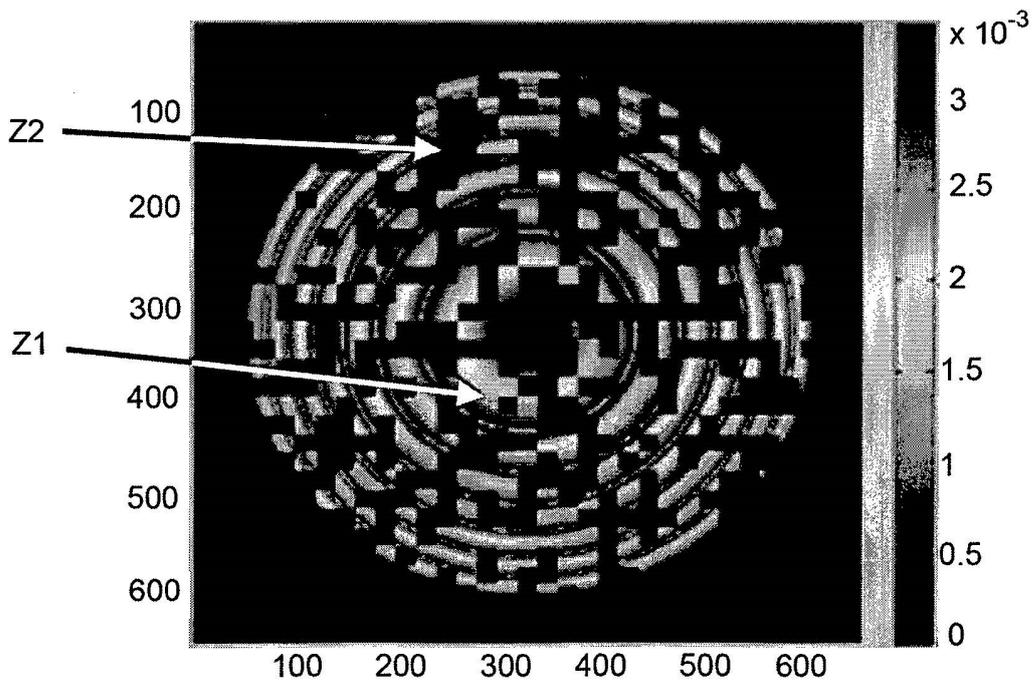


FIG. 3B

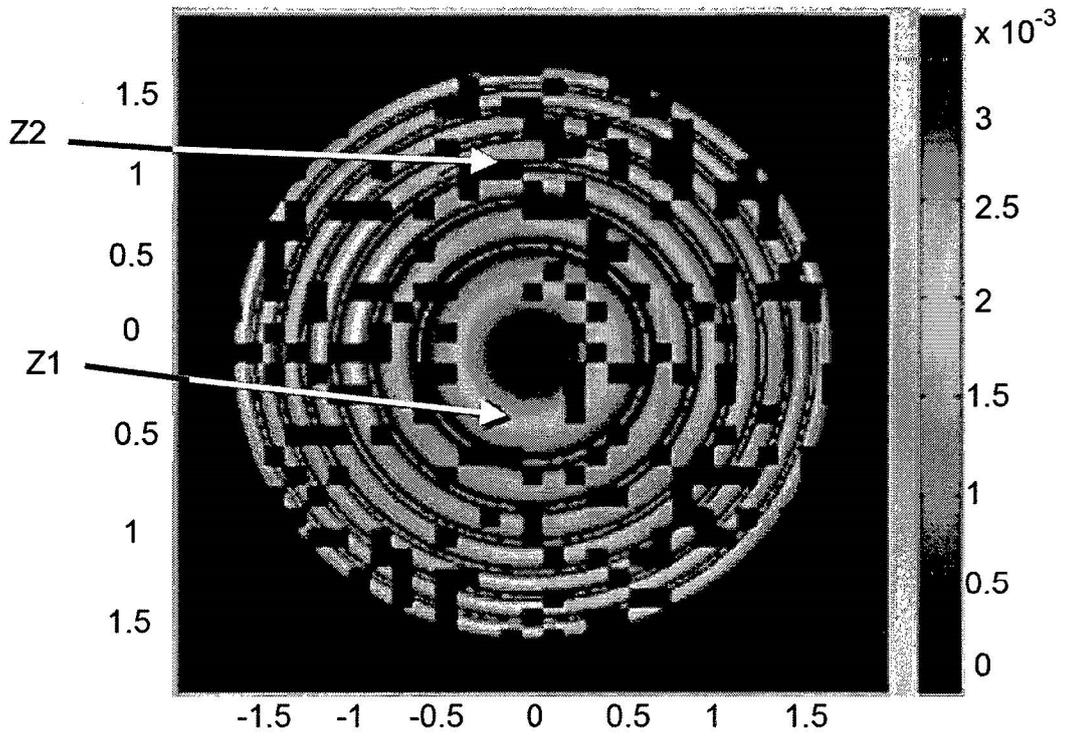


FIG. 3C

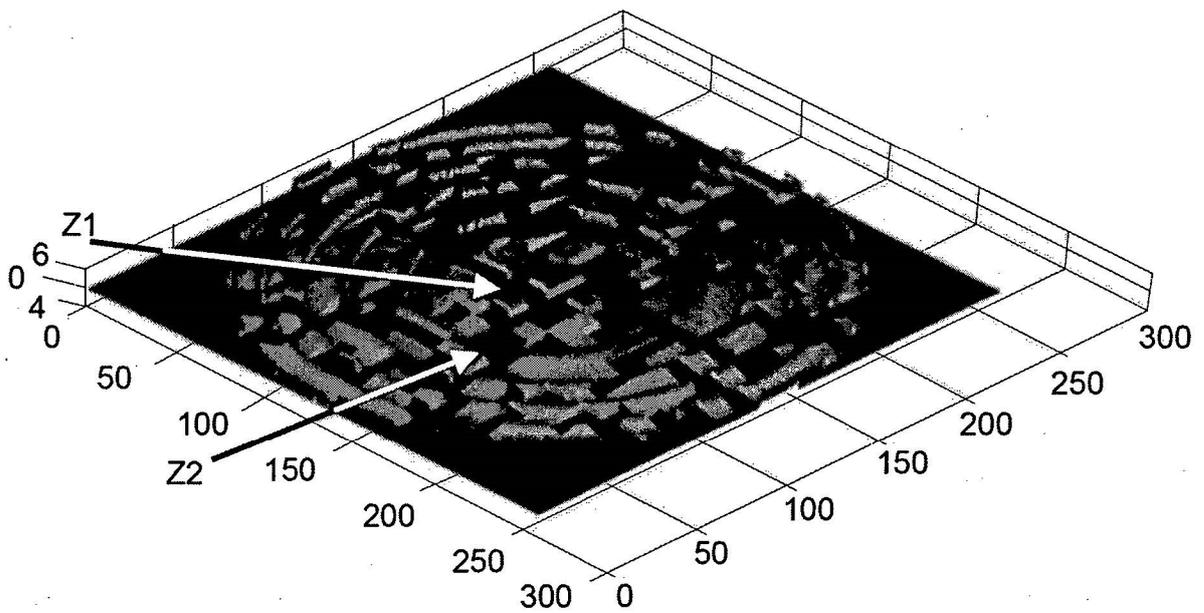


FIG. 3D

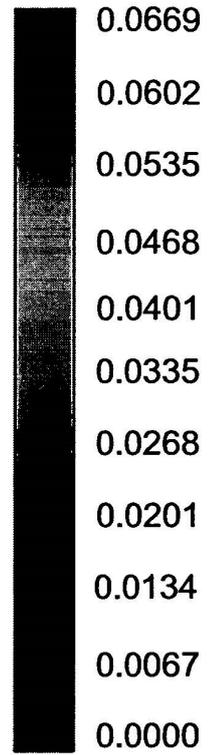
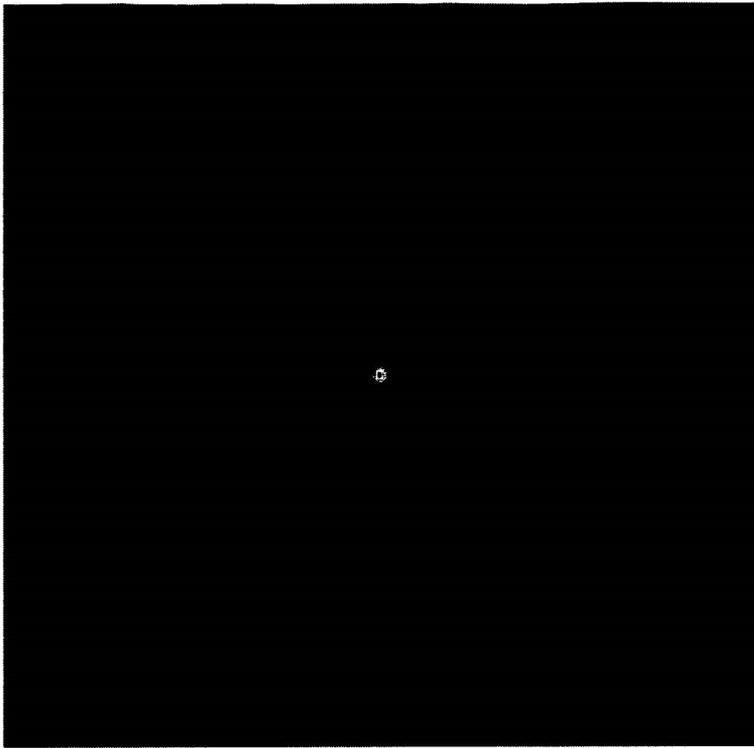


FIG. 4A

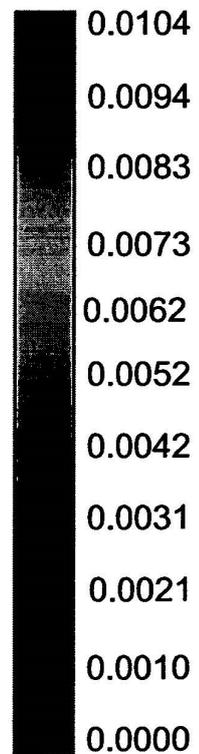
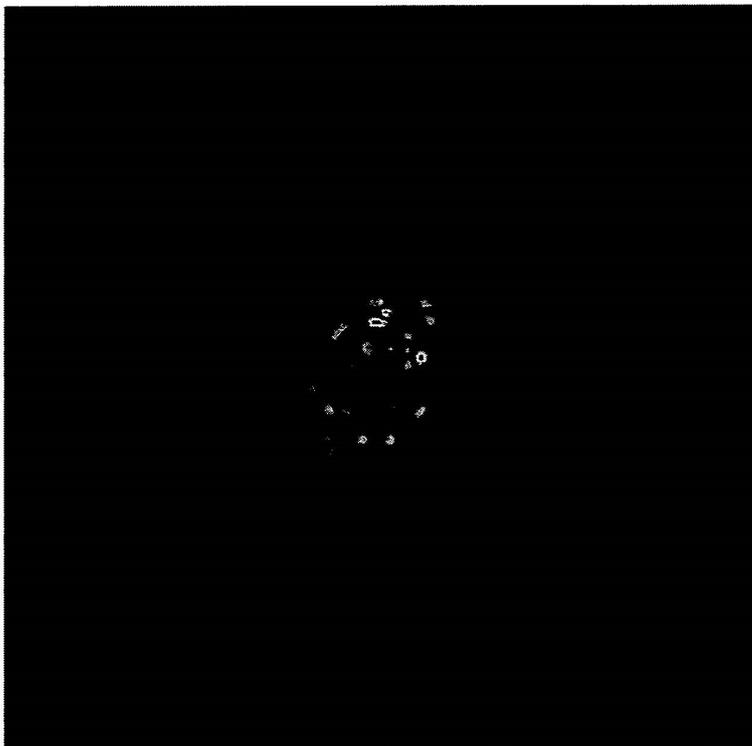


FIG. 4B

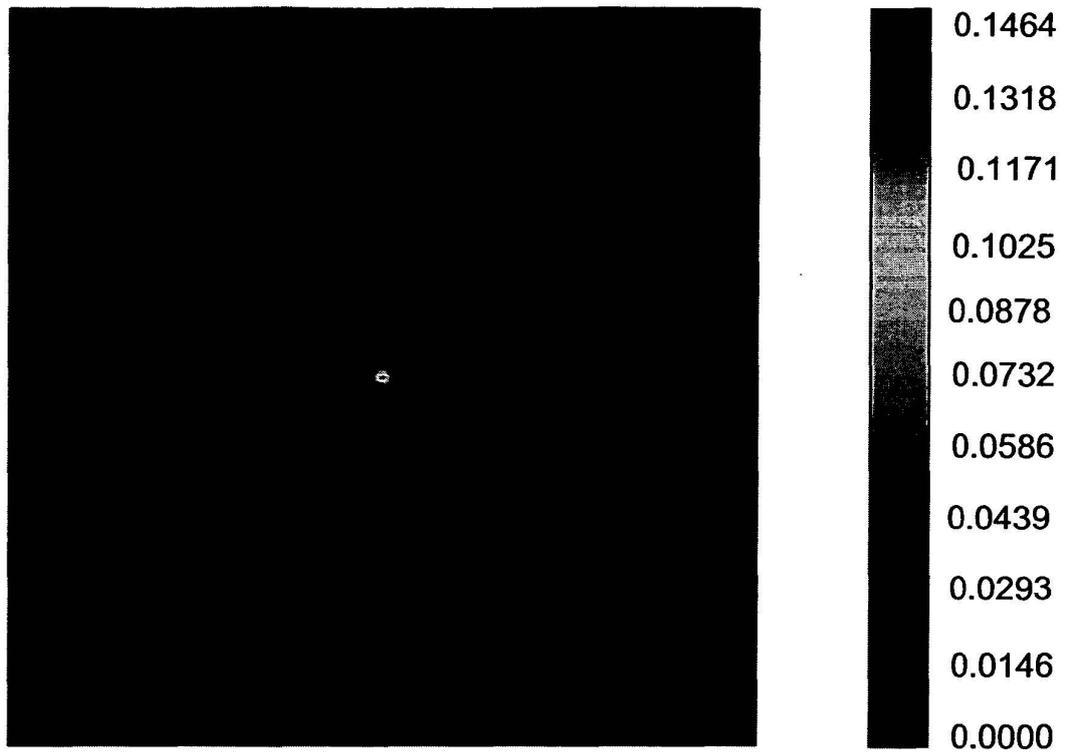


FIG. 4C

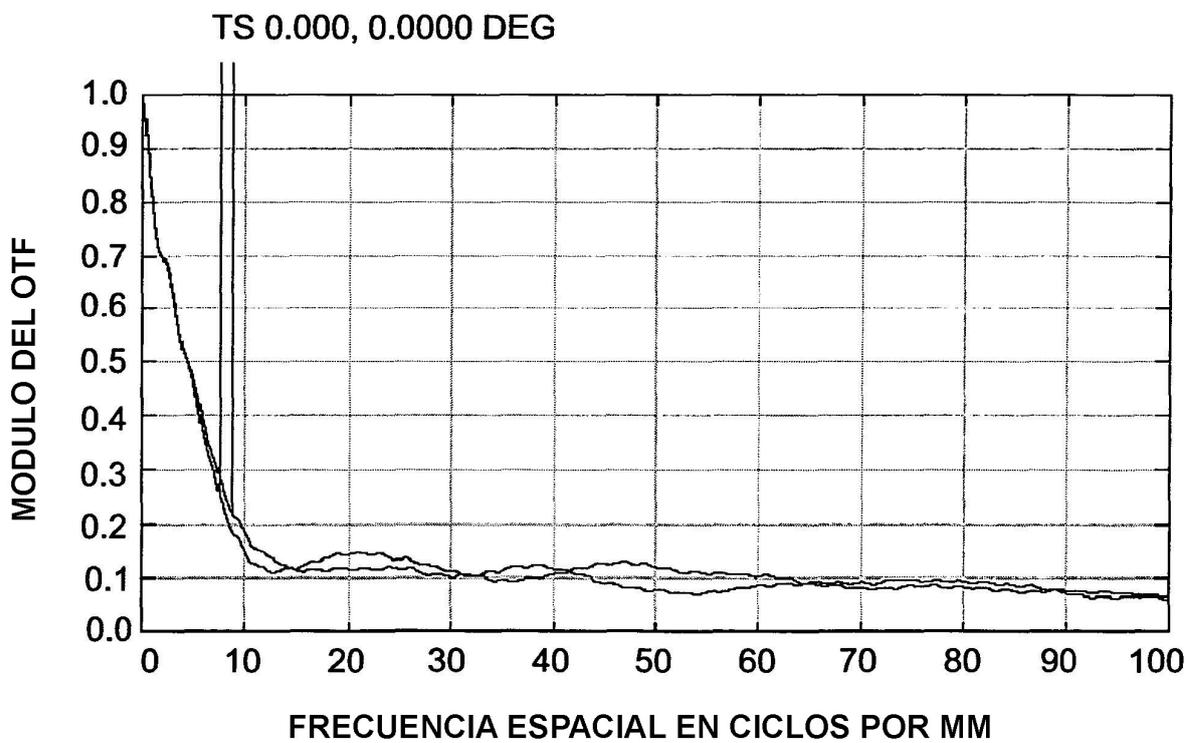


FIG. 5A

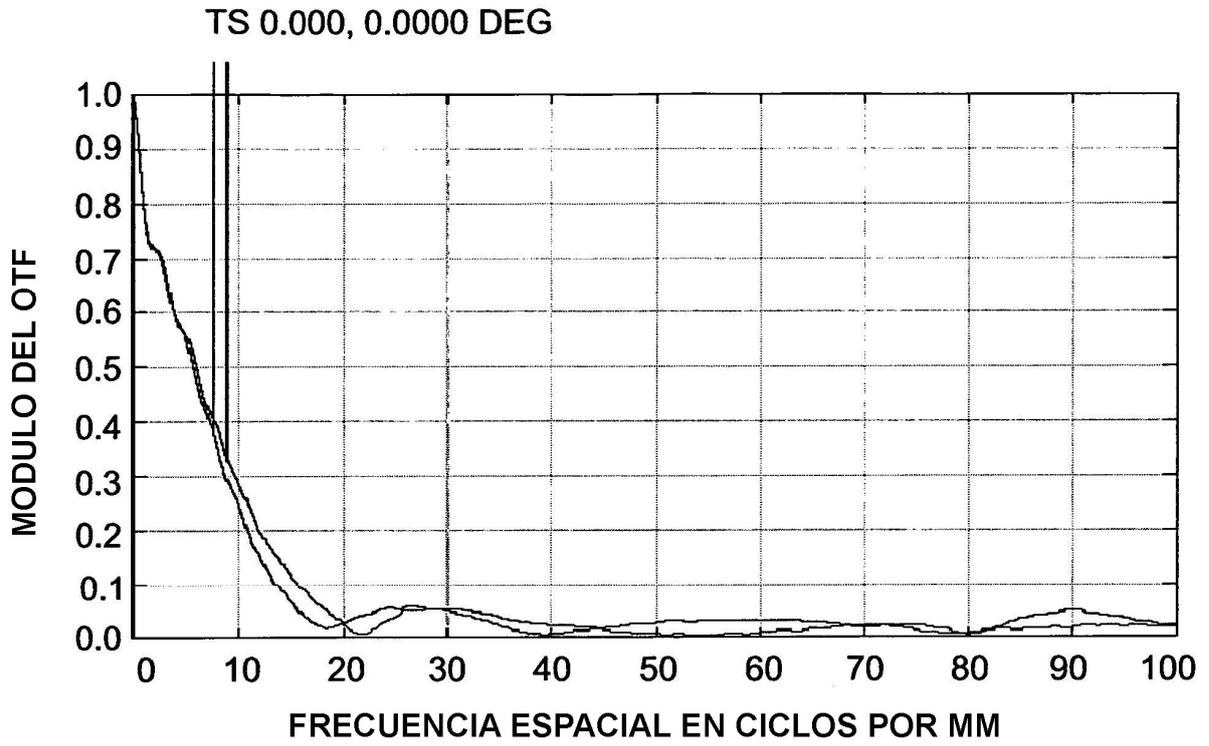


FIG. 5B

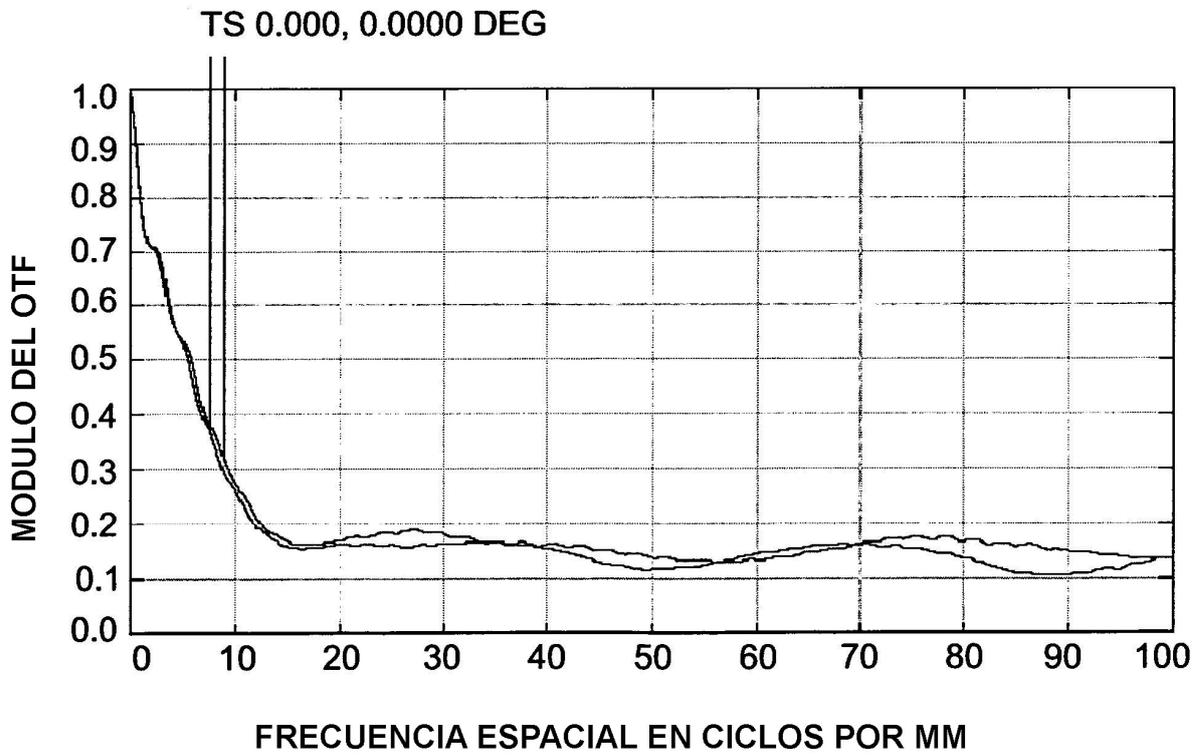


FIG. 5C

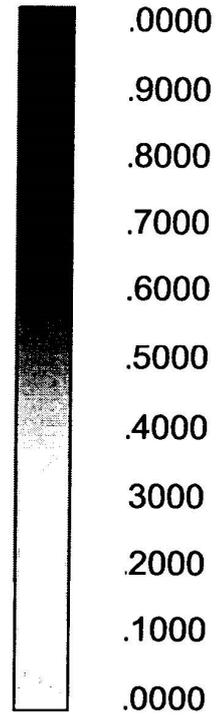
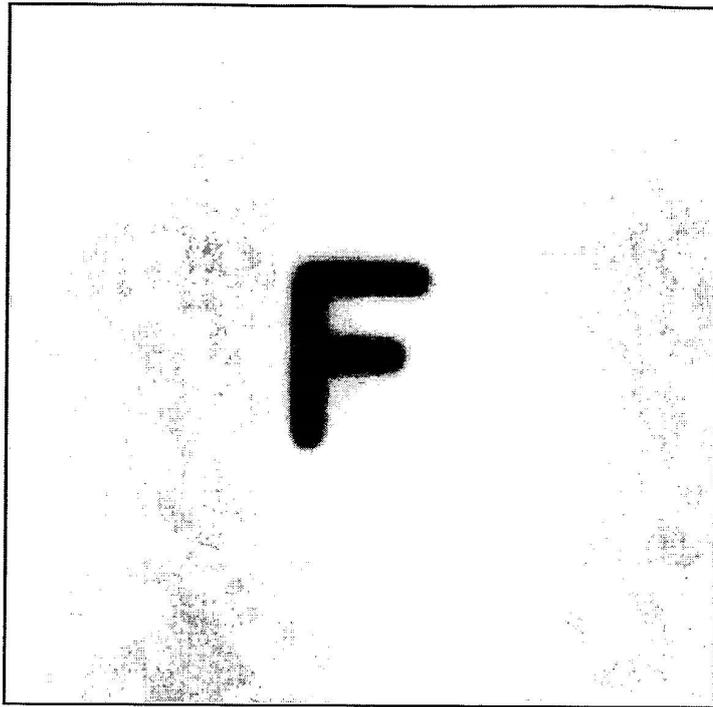


FIG. 6A

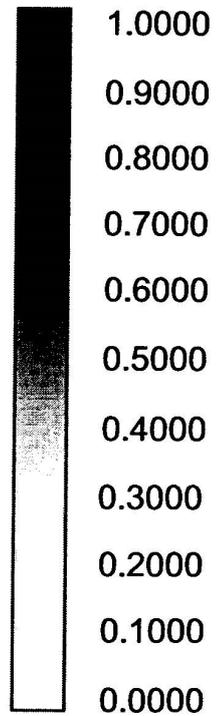
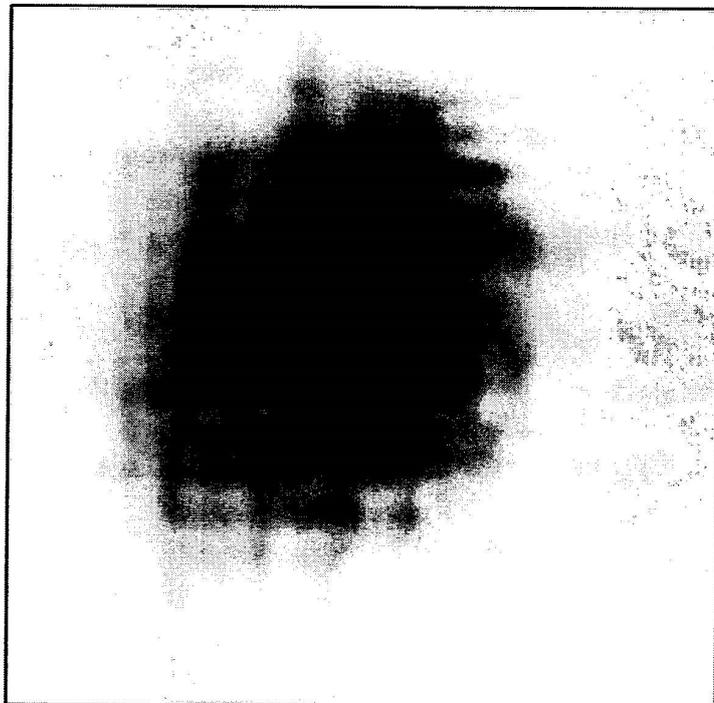


FIG. 6B

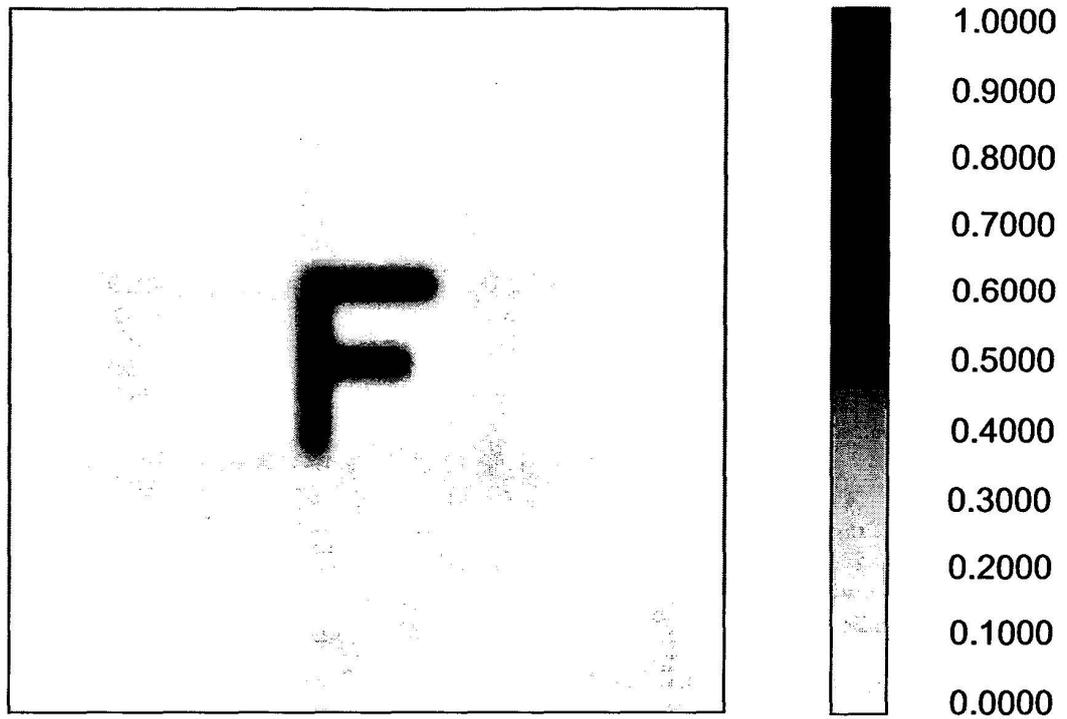


FIG. 6C

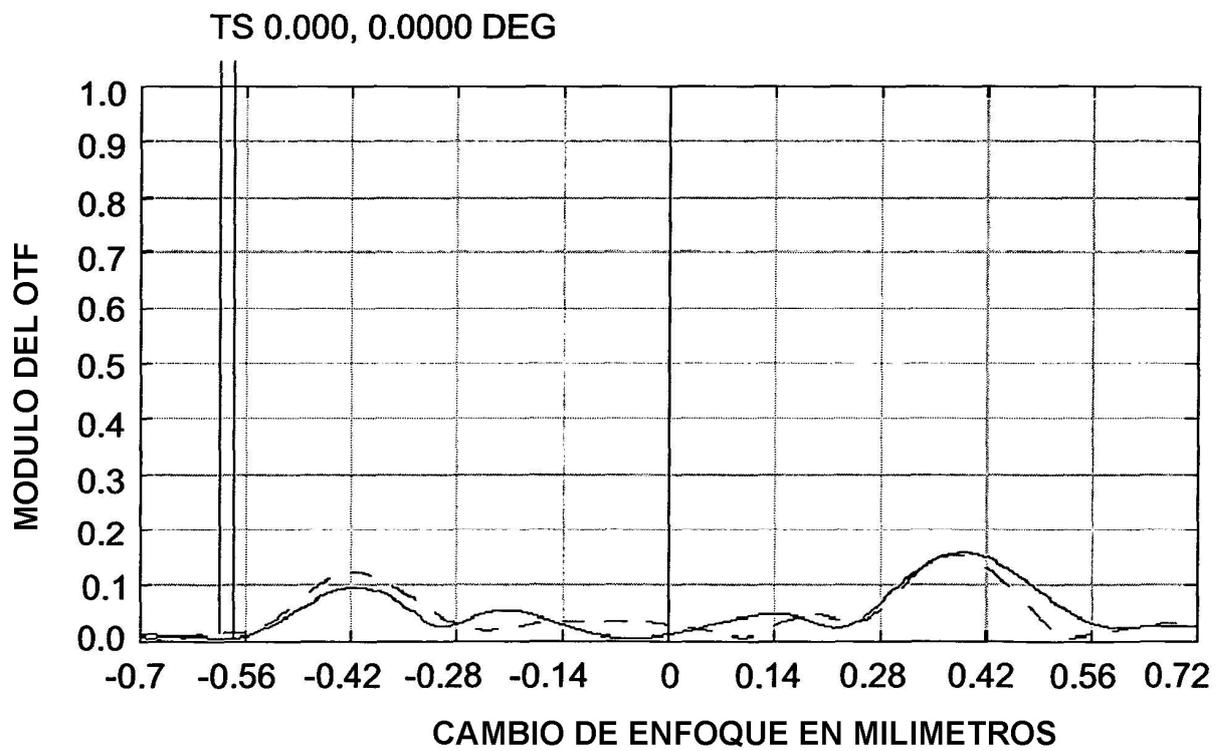


FIG. 7

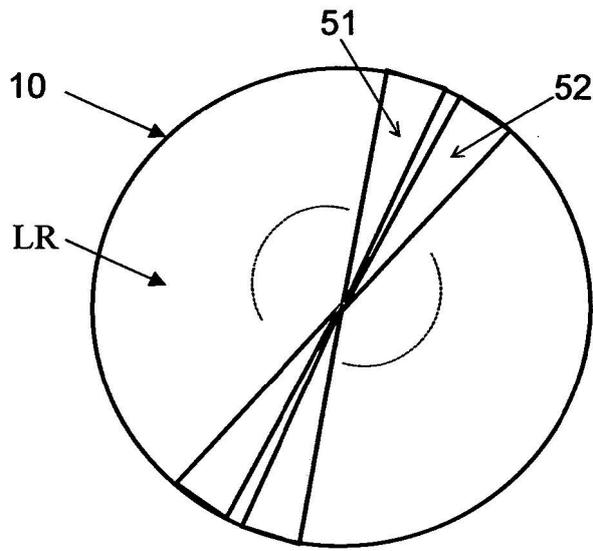


FIG. 8A

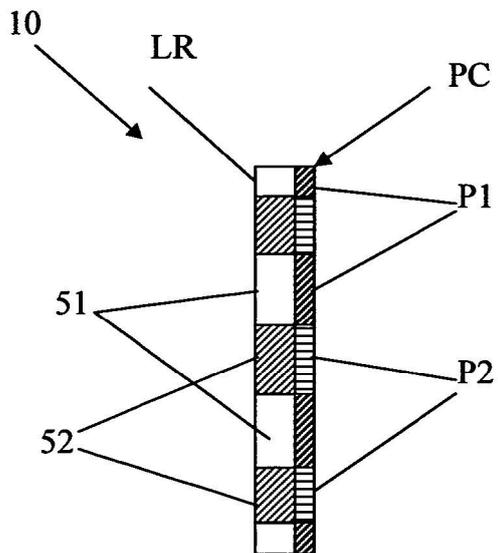


FIG. 8B