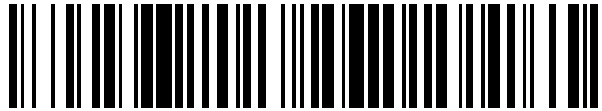


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 575 139**

51 Int. Cl.:

A61F 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2009 E 09708376 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016 EP 2254510**

54 Título: **LIO acomodativa con aberración esférica dinámica**

30 Prioridad:

07.02.2008 US 26939

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

24.06.2016

73 Titular/es:

**NOVARTIS AG (100.0%)
Lichtstrasse 35
4056 Basel , CH**

72 Inventor/es:

**ANGELOPOULOS, ROBERT;
HONG, XIN;
ZHANG, XIAOXIAO y
KARAKELLE, MUTLU**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 575 139 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

LIO acomodativa con aberración esférica dinámica.

5 **Antecedentes**

La presente invención se refiere generalmente a lentes oftálmicas, y más particularmente a lentes intraoculares (LIO) acomodativas que muestran aberraciones dinámicas.

10 La potencia óptica del ojo se determina mediante la potencia óptica de la córnea y la del cristalino, proporcionando el cristalino aproximadamente un tercio de la potencia óptica total del ojo. El cristalino es una estructura transparente, biconvexa cuya curvatura puede cambiar por los músculos ciliares para ajustar su potencia óptica para permitir que el ojo enfoque objetos a distancias variables. Este proceso se conoce como acomodación. Como resultado de la acomodación, la aberración esférica mostrada por el cristalino se desplaza en la dirección negativa.

15 El cristalino, sin embargo, se hace menos transparente en individuos que padecen cataratas, por ejemplo, debido a la edad y/o a enfermedad, disminuyendo por tanto la cantidad de luz que alcanza la retina. Un tratamiento conocido para cataratas implica retirar el cristalino opacificado y reemplazado por una lente intraocular (LIO) artificial. Aunque tales LIO pueden mejorar la visión del paciente, pueden sin embargo conducir a la pérdida, o por lo menos a reducción grave, de la capacidad acomodativa del ojo. En particular, una clase de LIO, denominadas comúnmente LIO monofocales, proporcionan una sola potencia óptica y por tanto no permiten acomodación. Otra clase de LIO, conocidas comúnmente como LIO difractivas, proporcionan principalmente dos potencias ópticas, normalmente una potencia óptica lejana y una potencia óptica cercana. Como tal, estas LIO proporcionan sólo un grado limitado de acomodación, conocido comúnmente como pseudoacomodación.

25 También se conocen LIO acomodativas de dos componentes ópticos que utilizan el movimiento de dos elementos ópticos uno en relación con el otro en respuesta al movimiento de los músculos ciliares para proporcionar un grado de acomodación continua. Sin embargo, el intervalo de movimiento de los dos componentes ópticos de tales LIO normalmente es limitado, restringiendo por tanto el intervalo de distancia de visión a lo largo de la cual pueden proporcionar acomodación.

30 El documento WO-A-2007/047427 es representativo del estado de la técnica.

35 Por consiguiente, existe la necesidad de LIO mejoradas, y particularmente de LIO acomodativas mejoradas así como de métodos de corrección de la visión que las utilicen.

Sumario

40 En un aspecto, la presente invención proporciona una lente intraocular (LIO) según las reivindicaciones que siguen, que presenta un elemento óptico anterior, un elemento óptico posterior y un mecanismo para acoplar los elementos anterior y posterior para permitir el movimiento axial de esos elementos uno en relación con el otro para proporcionar acomodación cuando se implanta la lente en el ojo de un paciente. Cada uno de los elementos anterior y posterior incluye por lo menos una superficie asférica, donde las asfericidades de las superficies están adaptadas para proporcionar una aberración esférica combinada que varía con la acomodación.

45 En un aspecto relacionado, la aberración esférica mostrada por la LIO, como resultado de la aberración combinada de los elementos anterior y posterior, cambia desde un valor positivo hasta un valor negativo en respuesta a un cambio en el tamaño de la pupila del ojo en el que se implanta la LIO a medida que el ojo se acomoda de visión lejana a visión cercana. La aberración esférica cambia a lo largo de un intervalo de aproximadamente $+0,2 \mu\text{m}$ a aproximadamente $-0,5 \mu\text{m}$ (menos 0,5 micrómetros) a medida que el diámetro de la pupila cambia desde aproximadamente 6 mm hasta aproximadamente 1,5 mm durante la acomodación. Una variación dinámica de este tipo de la aberración esférica de la LIO se caracteriza como un cambio a lo largo de un intervalo de aproximadamente $+0,2 \mu\text{m}$ a aproximadamente $-0,5 \mu\text{m}$ (menos 0,5 micrómetros) a medida que la potencia óptica de la LIO varía a lo largo de un intervalo de aproximadamente 0 a aproximadamente 6 D debido a la acomodación.

50 La LIO muestra una ligera aberración esférica positiva cuando los elementos ópticos de la LIO están separados una distancia correspondiente a un estado acomodativo adecuado para la visión lejana. Una aberración esférica positiva de este tipo es de $+0,2 \mu\text{m}$. En cambio, la LIO muestra una aberración esférica negativa cuando los elementos ópticos de la LIO están separados una distancia correspondiente a un estado acomodativo que es adecuado para la visión cercana. Una aberración esférica negativa de este tipo es de $-0,5 \mu\text{m}$ (menos 0,5 micrómetros).

55 La aberración esférica se vuelve progresivamente más negativa a medida que el ojo se acomoda para ver objetos más próximos.

65 En un aspecto relacionado, el elemento óptico anterior proporciona una potencia óptica refractiva monofocal en un

intervalo de aproximadamente 6 D a aproximadamente 40 D mientras que el elemento óptico posterior proporciona una potencia óptica refractiva monofocal en un intervalo de aproximadamente -30 D (menos 30 D) a aproximadamente -3 D (menos 3 D).

5 En otro aspecto, se da a conocer un conjunto de lente intraocular (LIO) que incluye una lente anterior, una lente posterior y un mecanismo de acoplamiento que conecta esas lentes para producir su movimiento axial una en relación con la otra en respuesta a las fuerzas acomodativas naturales del ojo cuando se implanta el conjunto de LIO en el ojo de un paciente. Las lentes proporcionan una aberración esférica combinada que varía en función del estado acomodativo del ojo. Por ejemplo, la aberración esférica combinada cambia desde un valor positivo hasta un valor negativo a medida que el estado acomodativo del ojo varía desde uno adecuado para la visión lejana hasta uno adecuado para la visión cercana. En algunos casos, una disminución de este tipo puede caracterizarse por una pendiente sustancialmente lineal en una representación gráfica de la aberración esférica frente a la acomodación.

15 Se da a conocer una lente intraocular (LIO) acomodativa que comprende un componente óptico de dos elementos que presenta un elemento óptico anterior y un elemento óptico posterior, en donde cada elemento proporciona una aberración esférica de manera que una aberración esférica combinada de estos elementos varía en función de un estado acomodativo del ojo en el que se implanta el componente óptico. La aberración esférica combinada puede variar a lo largo de un intervalo que se extiende desde +0,2 μm (más 0,2 micrómetros) hasta -0,5 μm cuando el estado de acomodación del ojo varía desde uno adecuado para la visión lejana hasta uno adecuado para la visión cercana.

20 En otro aspecto, la invención proporciona una lente intraocular (LIO) que comprende un elemento óptico anterior que presenta por lo menos una superficie esférica, y un elemento óptico posterior que presenta por lo menos una superficie esférica, en donde las superficies esféricas están adaptadas para proporcionar una aberración esférica combinada que varía en función del tamaño de la pupila cuando se implanta la lente en el ojo de un paciente. Por ejemplo, en algunos casos, la aberración esférica combinada es positiva para un tamaño de pupila igual a o mayor de aproximadamente 6 mm y es negativa para un tamaño de pupila menor de aproximadamente 1,5 mm.

25 En un aspecto relacionado, en la LIO anterior, el elemento óptico anterior proporciona una potencia óptica monofocal en un intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente 40 D, y el elemento óptico posterior proporciona una potencia óptica monofocal en un intervalo de aproximadamente -30 D (menos 30 D) a aproximadamente -3 D (menos 3 D).

30 Puede obtenerse comprensión adicional de la invención haciendo referencia a la siguiente descripción detallada en relación con los dibujos asociados, que se comentan brevemente a continuación.

35 El documento US 2007078515 describe una lente intraocular que incluye un componente óptico deformable, un componente óptico rígido y una estructura de soporte. El componente óptico deformable se dispone alrededor de un eje óptico y comprende un material sólido y una superficie deformable. Por lo menos una parte de la superficie deformable cambia de forma de manera que la potencia óptica de la por lo menos una parte de la superficie deformable y/o la lente intraocular cambia en por lo menos 2 dioptrías.

40 El documento US 2007106377 describe una lente intraocular de acomodación que incluye una parte óptica, una parte háptica. La parte óptica de la lente incluye un actuador que desvía un elemento de lente para alterar la potencia óptica de la lente en respuesta a fuerzas aplicadas a la parte háptica de la lente mediante la contracción de los músculos ciliares y un mecanismo de desviación secundario. El movimiento del elemento de lente mediante el actuador hace que el elemento de lente se deforme y el mecanismo de desviación secundario hace que la lente se deforme adicionalmente.

45 El documento WO 2007027091 se refiere a una lente intraocular artificial con fuerza óptica variable, en la que la lente artificial comprende dos elementos ópticos que pueden moverse uno en relación con el otro en una dirección que se extiende transversalmente con respecto al eje óptico para hacer uso del hecho de que uno o ambos elementos ópticos pueden desplazarse uno en relación con el otro a través del impulso del músculo orbicular natural con el fin de obtener una función de acomodación.

50 El documento WO 2007015640 se refiere a una lente intraocular artificial con fuerza óptica variable, que comprende por lo menos dos elementos ópticos, pudiendo moverse por lo menos dos de ellos uno en relación con el otro en una dirección que se extiende transversalmente con respecto al eje óptico, en la que los elementos ópticos presentan una forma de manera que en diferentes posiciones de los elementos ópticos móviles la lente artificial presenta una fuerza óptica diferente, en la que la lente artificial presenta una fuerza básica óptica positiva, fija en la que se añade la fuerza óptica variable producida por el movimiento relativo de los elementos móviles para obtener la fuerza óptica total de la lente artificial.

Breve descripción de los dibujos

65 la figura 1 es una vista lateral esquemática de una LIO acomodativa según una forma de realización de la

invención que presenta una lente anterior y una lente posterior acopladas entre sí mediante un mecanismo para mover las lentes axialmente una en relación con la otra,

5 la figura 2A representa esquemáticamente la lente anterior de la LIO mostrada en la figura 1 que ilustra que incluye una superficie posterior esférica,

la figura 2B representa esquemáticamente la lente posterior de la LIO mostrada en la figura 1 que ilustra que incluye una superficie anterior esférica,

10 la figura 3A es una vista lateral esquemática de una LIO acomodativa de dos componentes ópticos según una forma de realización de la invención que presenta una estructura difractiva sobre una superficie de su componente óptico anterior,

15 la figura 3B es una vista esquemática de la superficie del componente óptico anterior de la LIO de la figura 3A que representa la estructura difractiva,

la figura 3C es un perfil radial esquemático de la superficie anterior de la LIO de la figura 3A que presenta una estructura difractiva menos la curvatura de base de la superficie,

20 la figura 4 presenta aberración esférica residual calculada de tres diseños hipotéticos de LIO en función de la acomodación: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención,

25 la figura 5 muestra la acomodación paraxial calculada proporcionada por tres diseños de LIO (un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención) a diferentes distancias de separación de sus lentes anterior y posterior una en relación con la otra,

30 la figura 6A muestra la acomodación calculada teóricamente mediante la influencia de la aberración para una separación de 0,6 mm de las lentes anterior y posterior de tres LIO acomodativas hipotéticas de dos componentes ópticos: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención,

35 la figura 6B muestra la acomodación calculada teóricamente mediante la influencia de la aberración para una separación de 1 mm de las lentes anterior y posterior de tres LIO acomodativas hipotéticas de dos componentes ópticos: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención,

40 la figura 7A muestra la función de transferencia de modulación (MTF) calculada teóricamente a 100 lp/mm para la visión lejana a tamaños de pupilas de 6 mm y 3 mm correspondiente a tres diseños hipotéticos de LIO acomodativa de dos componentes ópticos: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención,

45 la figura 7B muestra la función de transferencia de modulación (MTF) calculada teóricamente a 100 lp/mm para la visión cercana a tamaños de pupilas de 6 mm y 3 mm correspondiente a los tres diseños hipotéticos de LIO acomodativa de dos componentes ópticos: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención,

50 la figura 8A presenta gráficos correspondientes a la MTF calculada a 50 lp/mm para tres diseños en función de la potencia de acomodación para un diámetro de pupila de 3 mm: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención,

55 la figura 8B presenta gráficos correspondientes a la MTF calculada a 50 lp/mm para los tres diseños en función de la potencia de acomodación para un diámetro de pupila de 6 mm: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención, y

la figura 9 presenta el efecto calculado de la inclinación y la descentralización sobre la calidad de imagen de tres diseños hipotéticos de LIO acomodativa de dos componentes ópticos: un diseño esférico, un diseño que minimiza la aberración esférica y un diseño según una forma de realización de la invención.

60 Descripción detallada

La presente invención proporciona en general lentes intraoculares (LIO) acomodativas que muestran una aberración esférica dinámica en función del estado acomodativo del ojo para mejorar la potencia acomodativa eficaz. A modo de ejemplo, la LIO puede incluir dos componentes ópticos separados una distancia axial ajustable y acoplados entre sí a través de un mecanismo que puede cambiar la distancia axial en respuesta a las fuerzas acomodativas naturales del ojo, proporcionando así una potencia acomodativa. Por lo menos una superficie de cada componente

óptico puede mostrar un perfil esférico de manera que la LIO proporciona una aberración esférica que disminuye en función del aumento de la acomodación. Por ejemplo, la aberración esférica puede mostrar una variación caracterizada por una pendiente negativa con el aumento de la acomodación, es decir, la aberración puede volverse progresivamente más negativa a medida que el ojo se acomoda para ver objetos más próximos.

5 Aunque en las formas de forma de realización comentadas anteriormente se describe la aberración dinámica de la LIO en relación con la aberración esférica, las enseñanzas de la invención pueden aplicarse para variar dinámicamente otros tipos de aberración, tales como aberraciones astigmáticas y/o cilíndricas, en una LIO acomodativa en función de la acomodación. Por ejemplo, en algunas formas de forma de realización, por lo menos una LIO de una LIO acomodativa de dos componentes ópticos puede incluir una superficie cilíndrica que está diseñada para minimizar, por ejemplo, para corregir completamente, la aberración cilíndrica de los ojos (por ejemplo, contrarrestando una aberración cilíndrica de la córnea) para la visión lejana. A medida que el ojo se acomoda para ver objetos más próximos, la separación axial entre los dos componentes ópticos de la LIO puede cambiar, dando como resultado por tanto una aberración cilíndrica residual. Por ejemplo, en lugar de corregir completamente el error cilíndrico de la córnea, la superficie cilíndrica genera una aberración cilíndrica residual dirigida para la visión cercana y amplía la profundidad del alcance de enfoque, conduciendo así a una aberración cilíndrica residual variable. En otras palabras, la LIO proporciona una aberración cilíndrica que cambia dinámicamente en función del aumento de la acomodación.

20 Además, aunque en muchas formas de forma de realización comentadas a continuación se logra un cambio dinámico en una aberración debido a un cambio en una separación axial de los dos componentes ópticos, en otras formas de realización puede lograrse una variación dinámica de este tipo de una o más aberraciones como resultado de un desplazamiento lateral encima de la separación axial entre los dos componentes ópticos de una LIO acomodativa.

25 La figura 1 representa esquemáticamente una lente intraocular (LIO) 10 según una forma de realización de la invención que incluye un elemento óptico anterior 12 (por ejemplo, una lente) y un elemento óptico posterior 14 (por ejemplo, otra lente) que están colocados a una distancia axial uno en relación con el otro. Tal como se comenta adicionalmente más adelante, cuando la LIO se implanta en el ojo de un paciente, la distancia axial entre los dos elementos puede variar en respuesta a las fuerzas acomodativas naturales del ojo para cambiar la potencia combinada de los elementos para proporcionar acomodación. El elemento óptico anterior 12 se dispone alrededor de su eje óptico OAA y el elemento óptico posterior 14 se dispone alrededor de su eje óptico respectivo OAP. En este caso, los ejes ópticos de los dos elementos son colineales. Por tanto, en la siguiente descripción se hará referencia a un eje óptico OA de la LIO 10.

35 Un mecanismo acomodativo 16 acopla los elementos ópticos anterior y posterior entre sí para permitir su movimiento axial relativo (un movimiento a lo largo del eje óptico OA) cuando la LIO se implanta en el ojo de un paciente en respuesta a las fuerzas acomodativas naturales del ojo. Aunque en algunas formas de realización el mecanismo hace que uno de los elementos ópticos (por ejemplo, el elemento anterior 12) se mueva mientras que el otro permanece estacionario, en otras formas de realización el mecanismo 16 produce el movimiento de ambos elementos. El movimiento relativo de los elementos ópticos varía la distancia de separación axial entre esos elementos, cambiando así la potencia óptica de la LIO. En otras palabras, el cambio en la distancia axial puede proporcionar acomodación para ver objetos a diferentes distancias del ojo, tal como se comenta adicionalmente a continuación.

45 Los elementos ópticos anterior y posterior así como el mecanismo acomodativo pueden formarse de cualquier material biocompatible adecuado. Algunos ejemplos de tales materiales incluyen, sin limitación, hidrogel, silicona, poli(metacrilato de metilo) (PMMA) y un material polimérico conocido como Acrysof (un copolímero reticulado de acrilato de 2-feniletilo y metacrilato de 2-feniletilo). A modo de ejemplo, en algunos casos, los elementos ópticos anterior y posterior están formados de un tipo de material polimérico biocompatible y el mecanismo acomodativo está formado de otro tipo.

50 En esta forma de realización, el elemento óptico anterior 12 presenta un perfil biconvexo y funciona como una lente que proporciona una potencia óptica positiva y el elemento óptico posterior 14 presenta un perfil bicóncavo y funciona como una lente que proporciona una potencia óptica negativa. En algunas formas de realización, las curvaturas de las superficies de cada elemento junto con el material que forma ese elemento pueden seleccionarse de manera que el elemento óptico anterior proporciona una potencia óptica en un intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente 40 dioptrías (D), o más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 15 a aproximadamente 35 D, y el elemento óptico posterior proporciona una potencia óptica en un intervalo de aproximadamente -30 D a aproximadamente -3 D, y más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente -25 D a aproximadamente -5 D. A modo de ejemplo, la potencia óptica de los dos elementos puede seleccionarse de manera que la potencia combinada de la LIO para ver objetos distantes (por ejemplo, objetos a una distancia superior a aproximadamente 2000 cm del ojo), es decir, potencia de visión lejana, está en un intervalo de aproximadamente 6 a aproximadamente 34 D. Esta potencia de visión lejana de la LIO puede lograrse a la separación mínima de los dos elementos ópticos entre sí. A medida que aumenta la distancia axial entre los elementos debido a fuerzas acomodativas, la potencia óptica de la LIO aumenta hasta que se alcanza una potencia

óptica máxima para ver objetos a distancias iguales a o menores de aproximadamente 40 cm (es decir, visión cercana). Esta potencia óptica añadida máxima puede estar, por ejemplo, en un intervalo de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 5 D.

5 El elemento óptico anterior 12 incluye una superficie anterior 12a y una superficie posterior 12b. De manera similar, el elemento óptico posterior 14 incluye una superficie anterior 14a y una superficie posterior 14b. Tal como se comenta adicionalmente más adelante, en esta forma de realización, tanto la superficie posterior 12b del elemento anterior 12 como la superficie anterior 14a del elemento posterior 14 muestran un perfil asférico, mientras que la superficie anterior del elemento anterior y la superficie posterior del elemento posterior presentan perfiles sustancialmente esféricos. El término "perfil asférico", tal como se utiliza en la presente memoria, se refiere generalmente a un perfil de superficie que muestra desviaciones con respecto a un perfil de superficie que corresponde a una parte de una esfera. Aunque en algunas formas de realización, tales desviaciones asféricas pueden ser simétricas rotacionalmente alrededor de un eje de simetría de la superficie (por ejemplo, eje óptico de la lente), en otras formas de realización las desviaciones pueden no mostrar una simetría rotacional de este tipo.

15 La asfericidad de la superficie 12b y la de la superficie 14a están configuradas de manera que proporcionan conjuntamente una aberración esférica combinada que varía en función de la distancia axial entre los dos elementos, o más generalmente en función del tamaño de la pupila, tal como se comenta adicionalmente más adelante. En otras formas de realización, las superficies de la LIO 10 distintas a las superficies 12b y 14a mencionadas anteriormente pueden mostrar un grado seleccionado de asfericidad. Más generalmente, por lo menos una de las superficies de cada elemento óptico muestra una asfericidad seleccionada de manera que proporcionan conjuntamente una aberración esférica combinada que varía en función del tamaño de la pupila, que puede variar como resultado de la acomodación, tal como se comenta a continuación.

25 Más específicamente, la aberración esférica mostrada por la LIO puede disminuir cuando el diámetro de la pupila disminuye como resultado de la acomodación creciente (lo que puede corresponder a un aumento en la separación axial de los componentes ópticos de la LIO). Por ejemplo, en algunos casos, la LIO puede mostrar una pequeña aberración esférica positiva cuando el ojo está en un estado no acomodativo para ver objetos lejanos. A medida que el ojo se acomoda para enfocar objetos más próximos, la aberración esférica disminuye y cambia hasta un valor negativo a una potencia acomodativa dada. A medida que el ojo se acomoda incluso adicionalmente, la aberración esférica se vuelve progresivamente más negativa. En algunos otros casos, la aberración esférica mostrada por la LIO para la visión lejana es ligeramente negativa y se vuelve progresivamente más negativa con el aumento de la acomodación.

35 A modo de ilustración adicional, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 2A, la superficie posterior 12b del elemento anterior 12 muestra un perfil de superficie que coincide sustancialmente con un supuesto perfil esférico (mostrado en líneas discontinuas) a distancias radiales próximas al eje óptico y se desvía progresivamente del posible perfil en función de la distancia radial creciente desde el eje óptico. De manera similar, tal como se representa esquemáticamente en la figura 2B, la superficie anterior 14a del elemento posterior 14 muestra una desviación con respecto a un supuesto perfil esférico (mostrado en líneas discontinuas).

45 Tal como se observó anteriormente, la asfericidad de las superficies se elige de manera que la aberración esférica combinada mostrada por los dos elementos varía en función del tamaño de la pupila. Por ejemplo, en algunas formas de realización, los perfiles de superficie radial de las superficies asféricas de los componentes ópticos anterior y posterior de la LIO 10 pueden definirse mediante la siguiente relación:

$$x = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)c^2r^2}} + a_1r^2 + a_2r^4 + a_3r^6 \quad \text{Ec. (1)}$$

en la que,

z indica una curvatura de la superficie a una distancia radial r de un eje óptico de la lente,

c indica la curvatura de la superficie en su vértice (en la intersección del eje óptico con la superficie); $c = \frac{1}{r}$
donde r indica el punto radial sobre la superficie tal como se mide desde el vértice,

k indica una constante cónica,

a_1 indica un coeficiente asférico de segundo orden,

a_2 indica un coeficiente asférico de cuarto orden, y

a_3 indica un coeficiente asférico de sexto orden.

Para la superficie posterior 12b del elemento anterior 12, en algunas formas de realización, c puede estar en un intervalo de aproximadamente -6 a aproximadamente -15 mm^{-1} , k puede estar en un intervalo de aproximadamente -20 a aproximadamente -60 , a_1 puede estar en un intervalo de aproximadamente $-1\text{E-}2$ a aproximadamente $1\text{E-}2$, a_2 puede estar en un intervalo de aproximadamente $-1\text{E-}2$ a aproximadamente $1\text{E-}2$, y a_3 puede estar en un intervalo de aproximadamente $-1\text{E-}2$ a aproximadamente $1\text{E-}2$. Para la superficie anterior 14a del elemento posterior 14, en algunas formas de realización, c puede estar en un intervalo de aproximadamente -60 a aproximadamente 60 , k puede estar en un intervalo de aproximadamente -20 a aproximadamente -60 , a_1 puede estar en un intervalo de aproximadamente $-1\text{E-}2$ a aproximadamente $1\text{E-}2$, a_2 puede estar en un intervalo de aproximadamente $-1\text{E-}2$ a aproximadamente $1\text{E-}2$, y a_3 puede estar en un intervalo de aproximadamente $-1\text{E-}2$ a aproximadamente $1\text{E-}2$.

A modo de ilustración adicional, las tablas 1A y 1B a continuación presentan parámetros de diseño a modo de ejemplo para tres LIO acomodativas hipotéticas de dos elementos, según algunas formas de realización de la invención junto con los parámetros de diseño de la lente anterior (tabla 1A) así como de la lente posterior (tabla 1B) de tales LIO.

Tabla 1A

Potencia de LIO global (D)	Potencia de lente anterior (D)	Potencia de lente posterior (D)	Lente anterior						
			Radio anterior (mm)	Radio posterior (mm)	Superficie posterior CC	Asfera posterior		CT (mm)	ET (mm)
15,0	37,0	-23,1	11,183	-11,904	-43,937	-1,142E-03	8,943E-05	0,905	0,210
21,0	37,0	-16,8	11,183	-11,904	-43,937	-1,142E-03	8,943E-05	0,905	0,210
34,0	37,0	-3,0	11,183	-11,904	-43,937	-1,142E-03	8,943E-05	0,905	0,210

Tabla 1B

Potencia de LIO global (D)	Potencia de lente anterior (D)	Potencia de lente posterior (D)	Lente posterior				
			Radio anterior (mm)	Radio posterior (mm)	Superficie anterior CC	CT (mm)	ET (mm)
15,0	37,0	-23,1	-6,016	-17,197	-3,788	0,905	0,210
21,0	37,0	-16,8	-6,881	-14,968	-4,472	0,905	0,210
34,0	37,0	-3,0	-13,930	-17,417	-17,458	0,905	0,210

En utilización, la LIO 10 puede implantarse en el ojo de un paciente para reemplazar un cristalino ocluido. Durante una cirugía de cataratas, se practica una pequeña incisión en la córnea, por ejemplo, utilizando una cuchilla de diamante. Entonces se inserta un instrumento a través de la incisión de la córnea para cortar una parte de la cápsula de lente anterior, normalmente de manera circular, para proporcionar acceso al cristalino opacificado. Entonces se emplea una sonda de láser o ultrasonidos para romper el cristalino y se aspiran los fragmentos de cristalino resultantes. Entonces puede insertarse la LIO en la bolsa capsular del paciente que va a colocarse contra el lado posterior de la bolsa capsular. En algunos casos, el elemento posterior de la LIO acoplado al mecanismo acomodativo se inserta primero en la bolsa capsular, y posteriormente se inserta el elemento anterior y se acopla al mecanismo acomodativo. El mecanismo acomodativo se engancha con la bolsa capsular para responder a las fuerzas acomodativas naturales del ojo. En algunas formas de realización, los diversos componentes del conjunto de LIO son plegables y pueden insertarse en la bolsa capsular empleando un inyector. Una vez dentro del ojo, los componentes pueden desplegarse para adoptar sus formas habituales.

Para ver un objeto lejano (por ejemplo, cuando el ojo está en un estado no acomodativo para ver objetos a una distancia mayor de aproximadamente 2000 cm del ojo), los músculos ciliares del ojo se relajan para aumentar el diámetro del anillo ciliar. El aumento del anillo ciliar produce a su vez un movimiento hacia el exterior de las zónulas, aplanando así la bolsa capsular. En algunas formas de realización, un aplanamiento de este tipo de la bolsa capsular puede hacer que el mecanismo acomodativo 16 mueva los componentes ópticos anterior y posterior uno hacia el otro, disminuyendo así la potencia óptica de la LIO. En cambio, para ver objetos más próximos (es decir, cuando el ojo está en un estado acomodativo), los músculos ciliares se contraen produciendo una reducción en el diámetro del anillo ciliar. Esta reducción en el diámetro relaja la fuerza radial hacia el exterior en las zónulas para deshacer el aplanamiento de la bolsa capsular. Esto puede hacer a su vez que el mecanismo acomodativo 16 mueva los componentes ópticos anterior y posterior alejándolos entre sí, aumentando así la potencia óptica total de la LIO 10.

Se sabe que el diámetro de la pupila cambia a medida que el ojo se acomoda. En particular, a medida que el ojo se acomoda para ver objetos más próximos el diámetro de la pupila disminuye. Tal como se observó anteriormente, la aberración esférica total mostrada por la LIO 10 disminuye (por ejemplo, cambia desde un valor positivo hasta un valor negativo que se vuelve progresivamente más negativo con el aumento de la acomodación) a medida que el

tamaño de la pupila disminuye, es decir, a medida que el ojo se acomoda para ver objetos más próximos. La aberración esférica negativa hace que la luz en diferentes ubicaciones radiales a través de una abertura óptica enfoque en diferentes puntos a lo largo del eje óptico de la LIO. A medida que la abertura disminuye, la aberración esférica de la LIO hace que la luz se enfoque más próxima a la LIO, mejorando así la potencia eficaz de la LIO. En otras palabras, la LIO proporciona una aberración esférica dinámica que varía en función del estado acomodativo del ojo para mejorar la acomodación.

Tal como se observó anteriormente, en algunas formas de realización, la LIO 10 muestra una aberración esférica positiva relativamente pequeña para la visión lejana (por ejemplo, en un intervalo de aproximadamente 0,1 a 0 μm). Alternativamente, en otras formas de realización, la LIO 10 muestra una aberración esférica negativa relativamente pequeña para la visión lejana (por ejemplo, en un intervalo de aproximadamente -0,1 a -0,2 μm). Una aberración esférica positiva o negativa de este tipo puede mejorar la profundidad de enfoque para la visión lejana. A medida que el ojo se acomoda para ver objetos más próximos, el diámetro de la pupila disminuye con una disminución concomitante en la aberración esférica mostrada por la LIO. Por ejemplo, en el caso de la realización que presenta una aberración esférica positiva pequeña para visión lejana, la aberración esférica puede cambiar desde un valor positivo hasta un valor negativo que disminuye progresivamente hasta valores negativos mayores a medida que el ojo se acomoda para ver objetos incluso más próximos. En las formas de realización que presentan una aberración esférica negativa pequeña para visión lejana, la aberración esférica adopta progresivamente valores negativos a medida que el ojo se acomoda para ver objetos más próximos. Tal como se comentó anteriormente, una aberración esférica negativa de este tipo puede mejorar la acomodación. Además, puede producirse un aumento natural en la profundidad de enfoque con un tamaño de la pupila más pequeño.

La aberración esférica mostrada por un sistema óptico, tal como la LIO 10 a modo de ejemplo, puede medirse mediante una variedad de técnicas conocidas. A modo de ejemplo, la patente estadounidense n.º 4.696.569 titulada "Method Of Measuring Spherical Aberration And Apparatus Therefor" así como la patente estadounidense US n.º 5.935.738 titulada "Phase-Shifting Mask, Exposure Method And Method For Measuring Amount Of Spherical Aberration" dan a conocer métodos y aparatos para medir la aberración esférica.

En algunas formas de realización, por lo menos una superficie de los dos componentes ópticos que comprende la LIO muestra un perfil tórico. Tal como se conoce en la materia, un perfil de superficie tórica se caracteriza por dos radios de curvatura diferentes correspondientes a dos direcciones ortogonales a lo largo de la superficie. A modo de ejemplo, el perfil tórico puede seleccionarse de una manera conocida en la materia para compensar una aberración astigmática del ojo del paciente para la visión lejana. A modo de ejemplo, puede conferirse un perfil tórico a una superficie posterior 12b del componente óptico anterior 12 de la LIO 10 mostrada en la figura 1.

Aunque en las formas de realización anteriores cada uno de los dos elementos ópticos de la LIO acomodativa proporciona una potencia óptica monofocal, en otras formas de realización por lo menos uno de esos elementos ópticos puede proporcionar múltiples potencias ópticas, por ejemplo, principalmente dos potencias ópticas. A modo de ejemplo, la figura 3A representa esquemáticamente una LIO acomodativa 18 según una forma de realización de este tipo que presenta una lente anterior 20 y una lente posterior 22. Un mecanismo acomodativo 24 acopla la lente anterior 26 a la lente posterior para producir su movimiento axial una en relación con la otra en respuesta a fuerzas acomodativas naturales del ojo cuando la LIO se implanta en el ojo de un paciente. De manera similar a las formas de realización anteriores, la lente anterior 20 presenta un perfil biconvexo y la lente posterior 22 presenta un perfil biconcavo. La superficie posterior de la lente anterior y la superficie anterior de la lente posterior muestran un grado seleccionado de asfericidad para proporcionar una aberración esférica dinámica en función de la acomodación (una aberración esférica que disminuye a medida que el paciente se acomoda para ver objetos más próximos), por ejemplo, de la manera comentada anteriormente.

Sin embargo, en esta forma de realización una estructura 26 difractiva se dispone sobre una superficie anterior 20a de la lente anterior de manera que la lente anterior proporciona una potencia óptica de enfoque lejano así como una potencia óptica de enfoque cercano. Más específicamente, las curvaturas de las superficies anterior y posterior de la lente anterior, junto con el índice de refracción del material que forma esa lente, confieren a la lente una potencia óptica refractiva (denominada en la presente memoria la potencia de enfoque lejano). La estructura difractiva proporciona a su vez una potencia de orden cero que se corresponde sustancialmente con esta potencia de enfoque lejano, así como una potencia difractiva de primer orden que es mayor que la potencia de orden cero. La diferencia entre las potencias ópticas de primer orden y de orden cero se denomina comúnmente la potencia añadida de la LIO.

En muchas formas de realización, la potencia de enfoque lejano de la lente anterior puede estar en un intervalo de aproximadamente 6 D a aproximadamente 40 D y su potencia añadida puede estar en un intervalo de aproximadamente 1 D a aproximadamente 4 D, o más preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2 D a aproximadamente 4 D. De manera similar a las formas de realización anteriores, la lente posterior proporciona una potencia óptica monofocal que puede estar, por ejemplo, en un intervalo de aproximadamente -30 a aproximadamente -3 D. La potencia de enfoque lejano de la lente anterior junto con la potencia monofocal de la lente posterior proporcionan una potencia primaria de la LIO. A medida que el mecanismo acomodativo cambia la distancia de separación entre las lentes anterior y posterior, esta potencia primaria de la LIO puede cambiar desde

una potencia adecuada para la visión lejana hasta una adecuada para la visión cercana. En algunos casos, este cambio acomodativo en la potencia puede estar en un intervalo de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 5 D.

5 La potencia añadida proporcionada por la estructura difractiva de la lente anterior 20 puede mejorar y/o aumentar el cambio acomodativo en la potencia logrado por el movimiento axial de las lentes anterior y posterior. En algunos casos, la potencia añadida difractiva se selecciona para que esté dentro del intervalo de potencia acomodativa. Sin embargo, en otros casos la potencia añadida puede encontrarse fuera de este intervalo para aumentar la capacidad de acomodación de la LIO. Algunos valores a modo de ejemplo para la potencia añadida pueden encontrarse en un intervalo de aproximadamente 3 D a aproximadamente 4 D.

10 La estructura 26 difractiva puede implementarse en una variedad de formas diferentes. Generalmente, tal como se muestra en las figuras 3A y 3B, la estructura 26 difractiva incluye una pluralidad de zonas 28 difractivas que están separadas por una pluralidad de escalones 30. Aunque en algunas implementaciones, las alturas de escalón son sustancialmente uniformes, en otros pueden variar (por ejemplo, disminuir) en función de la distancia radial creciente desde el eje óptico de la lente (es decir, las alturas de escalón están apodizadas). A modo de ejemplo, una altura de escalón sustancialmente uniforme puede definirse según la siguiente relación:

$$Altura\ de\ escalón = \frac{\lambda}{\alpha(n_2 - n_1)} \quad \text{Ecuación (2)}$$

20 en la que

λ indica un una longitud de onda de diseño (por ejemplo, 550 nm),

25 α indica un parámetro que puede ajustarse para controlar la eficacia de difracción asociada con diversos ordenes, por ejemplo, α puede seleccionarse para que sea 2,5;

n_2 indica el índice de refracción del componente óptico,

30 n_1 indica el índice de refracción de un medio en el que se coloca la lente

A modo de ejemplo, en algunos otros casos, en donde las alturas de escalón disminuyen en función de la distancia radial desde el eje óptico, las alturas de escalón puede definirse según la siguiente relación:

$$Altura\ de\ escalón = \frac{\lambda}{a(n_2 - n_1)} f_{apodización} \quad \text{Ecuación (3)}$$

35 en la que

λ indica un una longitud de onda de diseño (por ejemplo, 550 nm),

40 a indica un parámetro que puede ajustarse para controlar la eficacia de difracción asociada con diversos ordenes, por ejemplo, a puede seleccionarse para que sea 2,5;

n_2 indica el índice de refracción del componente óptico,

45 n_1 indica el índice de refracción de un medio en el que se coloca la lente, y

$f_{apodización}$ representa una función de escala cuyo valor disminuye en función de la distancia radial creciente desde la intersección del eje óptico con la superficie anterior de la lente. A modo de ejemplo, la función de escala $f_{apodización}$ puede definirse por la siguiente relación:

$$f_{apodización} = 1 - \left(\frac{r_i}{r_{exterior}} \right)^3 \quad \text{Ecuación (4)}$$

en la que

55 r_i indica la distancia radial de la zona i ésima,

$r_{exterior}$ indica el radio exterior de la última zona difractiva bifocal. También pueden emplearse otras funciones de escala de apodización, tal como se da a conocer en el documento WO-A-2006/060480.

En algunas formas de realización, las zonas difractivas están en forma de regiones anulares que se extienden alrededor del eje óptico. En algunas de tales formas de realización, la ubicación radial de un límite de zona (r_i) se selecciona según la siguiente relación:

$$r_i^2 = (2i + 1)\lambda f \text{ Ecuación (5)}$$

en la que

- i indica el número de zona ($i = 0$ indica la zona central),
- r_i indica la ubicación radial de la zona i ésima,
- λ indica la longitud de onda de diseño, y
- f indica una potencia añadida.

Pueden utilizarse una variedad de mecanismos acomodativos conocidos en la materia en diversas formas de realización de la invención, tal como las LIO 10 y 18 mostradas en las figuras 1 y 3A. Un ejemplo de un mecanismo de este tipo se da a conocer en la solicitud de patente estadounidense US n.º 7.316.713 titulada "Accommodative Intraocular Lens System". Otro mecanismo se da a conocer en la solicitud de patente estadounidense US n.º 6.616.691 titulada "Accommodative Intraocular Lens".

Ejemplo

Se comparó teóricamente el rendimiento óptico de diseños hipotéticos a modo de ejemplo de LIO acomodativas de dos elementos según algunas formas de realización de la invención con la de diseños esféricos respectivos así como diseños en los que la aberración esférica estaba reducida.

Los parámetros de superficie del diseño según las enseñanzas de la invención se facilitan en las tablas 1A y 1B anteriores. Para los diseños esféricos, los parámetros de superficie de la lente anterior así como de la lente posterior se facilitan a continuación en las tablas 2A y 2B:

Tabla 2A

Potencia de LIO global (D)	Potencia de lente anterior (D)	Potencia de lente posterior (d)	Lente anterior			
			Radio anterior (mm)	Radio posterior (mm)	CT (mm)	ET (mm)
15,0	37,0	-23,1	11,001	-12,133	0,894	0,100
21,0	37,0	-16,8	11,001	-12,133	0,894	0,100
34,0	37,0	-3,0	11,001	-12,133	0,894	0,100

Tabla 2B

Lente posterior			
Radio anterior (mm)	Radio posterior (mm)	CT (mm)	ET (mm)
-6,424	-20,989	0,143	0,500
-7,995	-21,466	0,126	0,500
-16,438	-21,466	0,245	0,300

Las tablas 3A y 3B a continuación proporcionan los parámetros de superficie de las lentes anterior y posterior del diseño teórico de LIO en el que se minimizó la aberración esférica:

Tabla 3A

Potencia de LIO global (D)	Potencia de lente anterior (D)	Potencia de lente posterior (d)	Lente anterior				
			Radio anterior (mm)	Radio posterior (mm)	Superficie posterior CC	CT (mm)	ET (mm)
15,0	37,0	-23,1	12,374	-10,788	-6,414	0,850	0,100
21,0	37,0	-16,8	12,374	-10,788	-6,414	0,850	0,100
34,0	37,0	-3,1	12,374	-10,788	-6,414	0,850	0,100

Tabla 3B

Lente posterior				
Radio anterior (mm)	Radio posterior (mm)	Superficie anterior CC	CT (mm)	ET (mm)

Lente posterior				
Radio anterior (mm)	Radio posterior (mm)	Superficie anterior CC	CT (mm)	ET (mm)
6,619	-23,241	-2,067	0,120	0,500
-6,917	-15,145	-1,672	0,120	0,451
-10,790	-12,819	-1,922	0,120	0,207

La figura 4 presenta gráficos calculados teóricamente que indican la aberración esférica residual del diseño hipotético anterior en función de la acomodación. Los gráficos indican que el diseño esférico muestra una aberración esférica residual positiva a acomodación cero, aumentando la aberración esférica con una pendiente positiva a medida que aumenta la potencia acomodativa. El diseño con aberración reducida muestra una aberración esférica residual sustancialmente constante a lo largo del cambio calculado en la potencia acomodativa (muestra una pequeña pendiente positiva). En cambio, el diseño según las enseñanzas de la invención muestra una pequeña aberración esférica residual positiva a acomodación cero cambiando la acomodación residual hasta un valor negativo a medida que aumenta la potencia acomodativa más allá de un valor determinado. La aberración esférica residual disminuye con una pendiente negativa a medida que aumenta adicionalmente la potencia acomodativa. Tal como se comentó anteriormente, este cambio dinámico en la aberración esférica con la potencia acomodativa proporciona varias ventajas, incluyendo la mejora de la potencia acomodativa eficaz de la lente.

La figura 5 muestra la acomodación paraxial calculada proporcionada por los tres diseños a diferentes distancias de separación de sus lentes anterior y posterior una en relación con la otra. La figura muestra que los tres diseños muestran acomodación paraxial nominal similar en función de la separación de sus elementos.

Sin embargo, tal como se observó anteriormente, la aberración esférica dinámica proporcionada por el diseño según las enseñanzas de la invención puede conducir a una acomodación eficaz mejorada a medida que disminuye el tamaño de la pupila. A modo de ilustración, las figuras 6A y 6B muestran la acomodación calculada teóricamente mediante la influencia de la aberración para una separación de 0,6 mm y 1 mm, respectivamente de las lentes anterior y posterior para los tres diseños mencionados anteriormente. El diseño esférico muestra una disminución en tal acomodación, y el diseño con aberración reducida no muestra cambio sustancial, cuando el diámetro de pupila disminuye desde 6 mm hasta 3 mm. En cambio, esta disminución en el diámetro de la pupila conduce a un aumento en la potencia acomodativa eficaz proporcionada por la aberración esférica dinámica del diseño según las enseñanzas de la invención.

A modo de ilustración adicional, la figura 7A muestra la función de transferencia de modulación (MTF) calculada teóricamente a 100 lp/mm para la visión lejana correspondiente a los tres diseños mencionados anteriormente a tamaños de pupilas de 6 mm y 3 mm como una medida de la calidad de imagen proporcionada por las tres lentes. Tal como conocen los expertos habituales en la materia, una MTF de un sistema de obtención de imágenes, tal como una LIO, puede definirse como una razón de contraste asociada con una imagen de un objeto formado por el sistema en relación con un contraste asociado con el objeto. La MTF asociada con un sistema óptico depende generalmente no sólo de la frecuencia espacial de la distribución de intensidad de la luz que ilumina el sistema de obtención de imágenes, sino que también puede resultar afectado por otros factores, tales como el tamaño de una apertura de iluminación así como por la longitud de onda de la luz que ilumina. En muchas formas de realización, la MTF puede medirse y/o calcularse para la luz que presenta una longitud de onda de aproximadamente 550 nm, aunque también pueden emplearse otras longitudes de onda o una combinación de longitudes de onda.

Con referencia continuada a la figura 7A, el diseño esférico muestra mala calidad de imagen para un diámetro de pupila de 6 mm mientras que el rendimiento teórico del diseño que presenta una aberración esférica dinámica es comparable al del diseño que muestra aberración reducida. La figura 7B presenta MTF calculada teóricamente a 100 lp/mm para la visión cercana correspondiente a los tres diseños a 6 mm y 3 mm. De nuevo, el diseño esférico muestra una mala calidad de imagen a un diámetro de pupila de 6 mm. Los diseños de aberración reducida y aberración dinámica muestran ambos buena calidad de imagen a diámetros de pupila tanto de 3 mm como de 6 mm mostrando el diseño de aberración dinámica una MTF inferior para el diámetro de pupila de 6 mm.

Las figuras 8A y 8B presentan gráficos correspondientes a la MTF calculada a 50 lp/mm para los tres diseños en función de la potencia de acomodación para diámetros de pupila de 3 mm y 6 mm, respectivamente. Para un tamaño de pupila de 3 mm, la profundidad de enfoque mostrada por los tres diseños es comparable. Para un tamaño de pupila de 6 mm, los tres diseños muestran diferente profundidad de enfoque con el diseño de aberración dinámica mostrando un aumento de la profundidad de enfoque, debido a las aberraciones diseñadas en el sistema.

La figura 9 muestra el efecto calculado de la inclinación y la descentralización sobre la calidad de imagen de los tres diseños tal como se define por la MTF calculada correspondiente a 100 lp/mm a un diámetro de pupila de 3 mm. Se comparan los valores de MTF para dos ángulos de inclinación de 5 y 10 grados y dos valores de descentralización de 0,5 mm y 1,0 mm con los valores de MTF limitada nominal y de difracción, lo que indica que el diseño de reducción de aberración demuestra la mayor robustez frente a la inclinación y la descentralización.

En algunas formas de realización, tales como los ejemplos anteriores, las LIO muestran las siguientes limitaciones mecánicas: un grosor de borde razonable (por ejemplo, y grosor de borde de menos de aproximadamente 0,3 mm), y una curvatura máxima de la superficie posterior del elemento posterior que es de menos de aproximadamente 0,5 mm (por ejemplo, menos de aproximadamente 0,36 mm).

- 5 Los expertos habituales en la materia apreciarán que puedan realizarse diversos cambios a las formas de realización anteriores sin apartarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Lente intraocular, LIO, que comprende:

- 5 un elemento óptico anterior (12) que presenta una superficie anterior (12a) y una superficie posterior (12b), en la que por lo menos una de entre las superficies anterior y posterior (12a, 12b) es una superficie esférica,
- un elemento óptico posterior (14) que presenta una superficie anterior (14a) y una superficie posterior (14b), en la que por lo menos una de entre las superficies anterior y posterior (14a, 14b) es una superficie esférica,
- 10 un mecanismo (16) para acoplar dichos elementos ópticos anterior y posterior (12, 14) con la superficie posterior (12b) del elemento óptico anterior (12) separada de la superficie anterior (14a) del elemento óptico posterior (14) para permitir el movimiento axial de dichos elementos ópticos (12, 14) uno con respecto al otro entre una primera posición de visión lejana que presenta una primera separación y una segunda posición de visión cercana que presenta una segunda separación para proporcionar acomodación cuando la lente se implanta en el ojo de un sujeto;

caracterizada por que dicho mecanismo (16) está configurado para permitir un ajuste de la separación entre dichos elementos ópticos (12, 14) desde una primera separación de visión lejana de 0 mm hasta una segunda separación de visión cercana de 2 mm a medida que la acomodación varía desde la visión lejana hasta la visión cercana; y

dichas superficies esféricas del elemento anterior y posterior (12, 14) están adaptadas para proporcionar una aberración esférica combinada que varía a lo largo de un intervalo con la acomodación obtenida mediante un cambio en la separación axial correspondiente a la acomodación de la LIO, en la que dicha aberración esférica cambia desde un valor positivo de +0,20 μm en dicha primera posición de visión lejana hasta un valor negativo de -0,50 μm en dicha segunda posición de visión cercana, y en la que la potencia óptica de la LIO es de aproximadamente 0 dioptrías en dicha primera posición de visión lejana y es de aproximadamente 6 dioptrías en dicha segunda posición de visión cercana.

2. LIO según la reivindicación 1, en la que dicha LIO muestra una aberración esférica negativa para la visión lejana disminuyendo la aberración en función del aumento de la acomodación.

3. LIO según la reivindicación 1, en la que dicha aberración esférica presenta un valor en un intervalo comprendido entre -0,2 μm y +0,2 μm cuando dichos elementos ópticos (12, 14) están separados una distancia correspondiente a un estado de acomodación apto para la visión lejana.

4. LIO según la reivindicación 1, en la que dicha aberración esférica presenta un valor en un intervalo comprendido entre -0,02 μm y -0,50 μm cuando dichos elementos ópticos (12, 14) están separados una distancia correspondiente a un estado de acomodación apto para la visión cercana.

5. LIO según la reivindicación 1, en la que la superficie esférica de por lo menos uno de dichos elementos (12, 14) muestra una asfericidad, caracterizada por que comprende una constante cónica en un intervalo comprendido entre -2 y -60.

6. LIO según la reivindicación 1, en la que dicha superficie esférica del elemento óptico anterior (12) corresponde a cualquiera de entre una superficie anterior (12a) o una superficie posterior (12b) de dicho elemento óptico anterior.

7. LIO según la reivindicación 1, en la que dicha superficie esférica del elemento óptico posterior (14) corresponde a cualquiera de entre una superficie anterior (14a) o una superficie posterior (14b) de dicho elemento óptico posterior (14).

8. LIO según la reivindicación 1, en la que dicho elemento óptico anterior (12) proporciona una potencia óptica en el intervalo comprendido entre 6 y 40 dioptrías.

9. LIO según la reivindicación 1, en la que dicho elemento óptico posterior (14) proporciona una potencia óptica en un intervalo comprendido entre -30 y -3 dioptrías.

10. LIO según la reivindicación 1, en la que dichos elementos ópticos anterior y posterior (12, 14) están formados a partir de un material biocompatible.

11. LIO según la reivindicación 1, en la que por lo menos uno de dichos elementos ópticos (12, 14) presenta una superficie tórica.

12. LIO según la reivindicación 1, en la que dicha aberración esférica muestra un cambio caracterizado por que presenta una pendiente negativa en función del aumento de la acomodación.

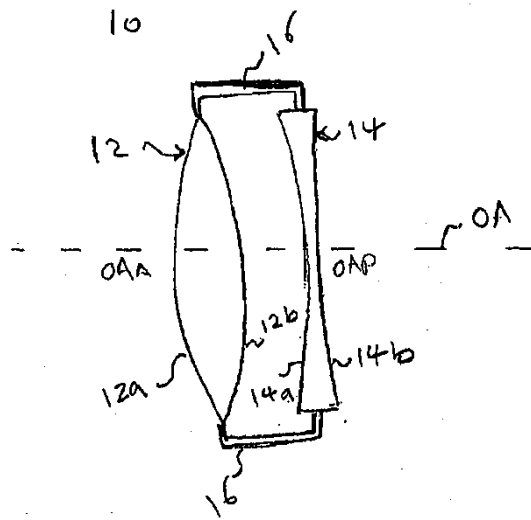


FIG. 1

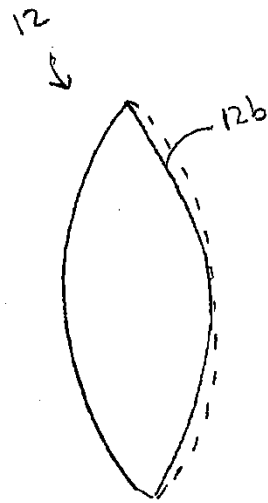


FIG. 2A

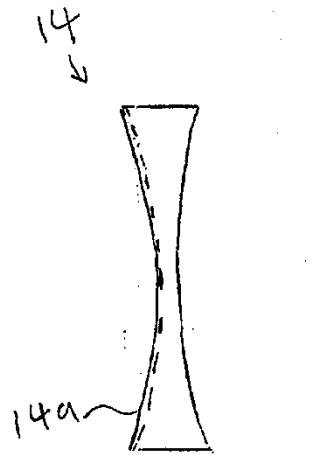
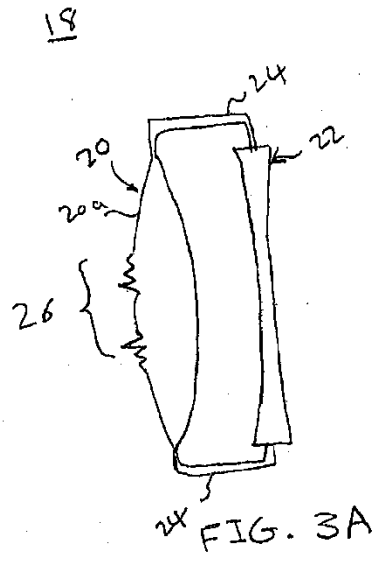


FIG. 2B



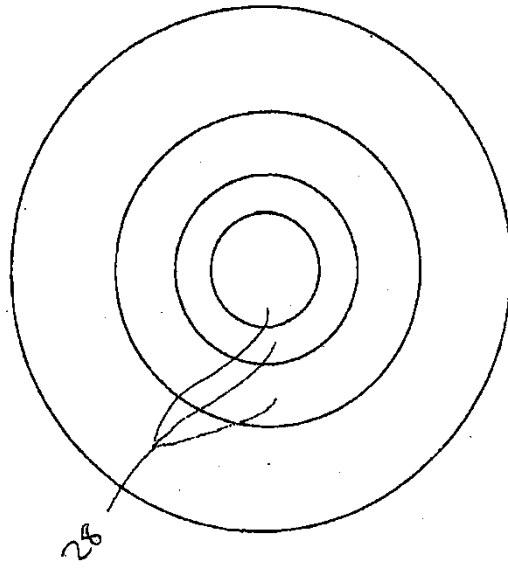


FIG. 3B

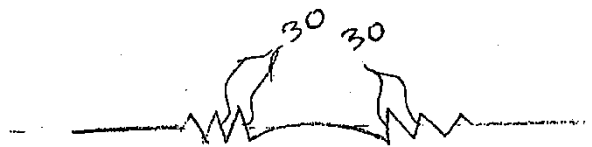


FIG. 3C

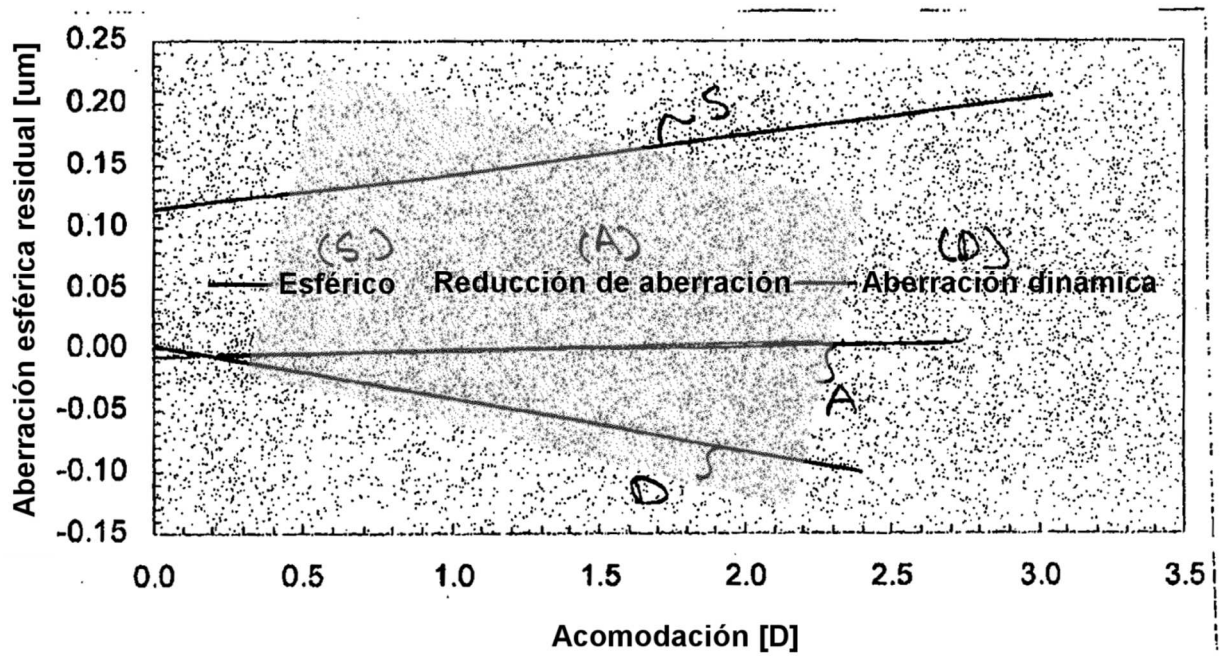


FIG. 4

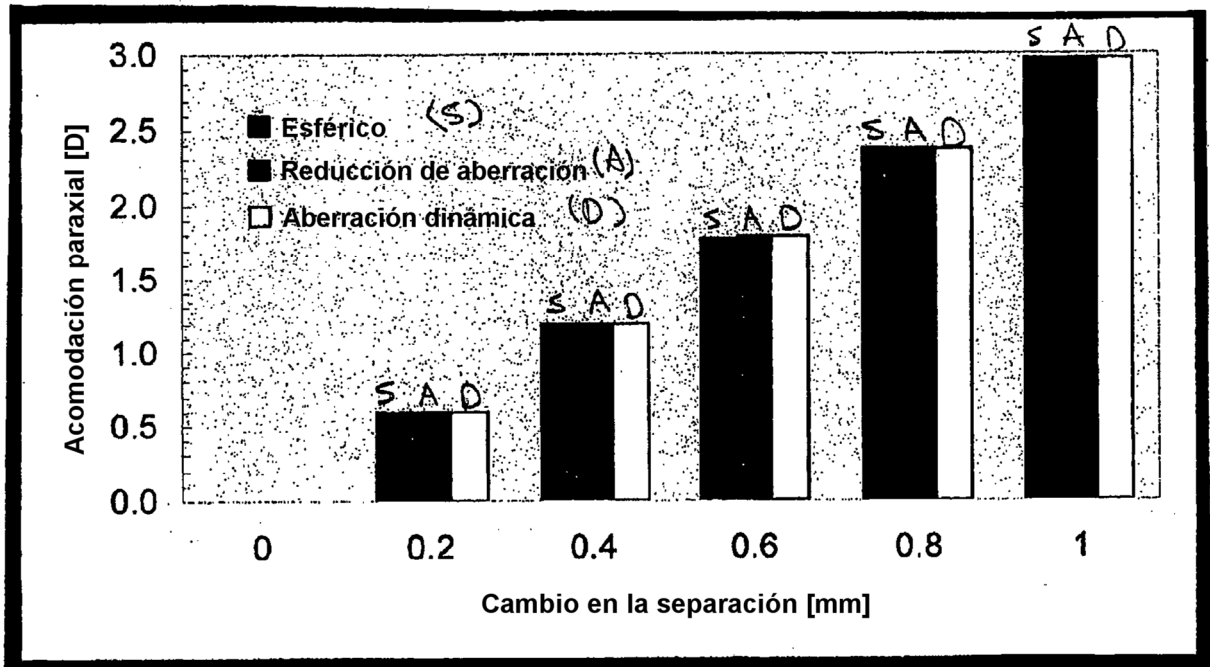


FIG. 5

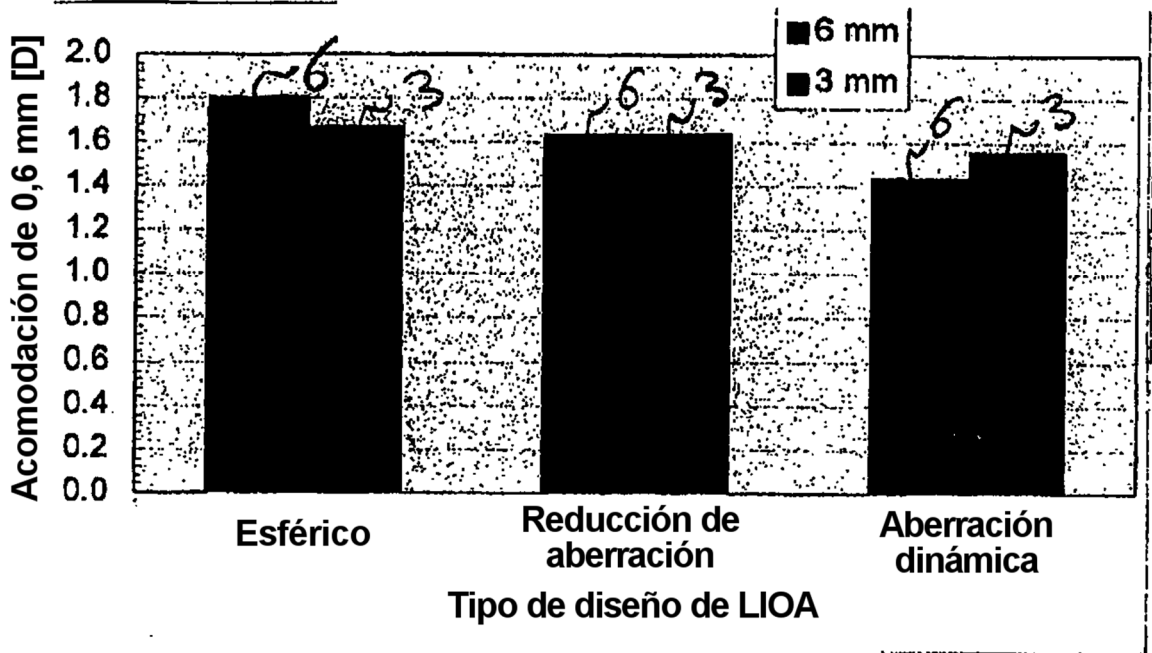


FIG. 6A

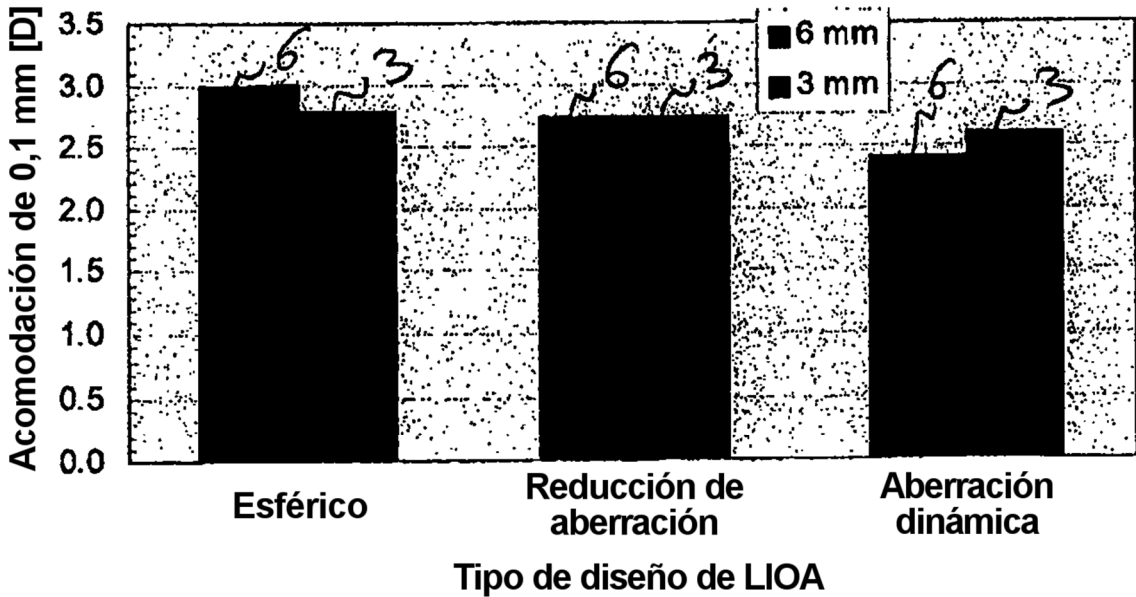


FIG. 6B

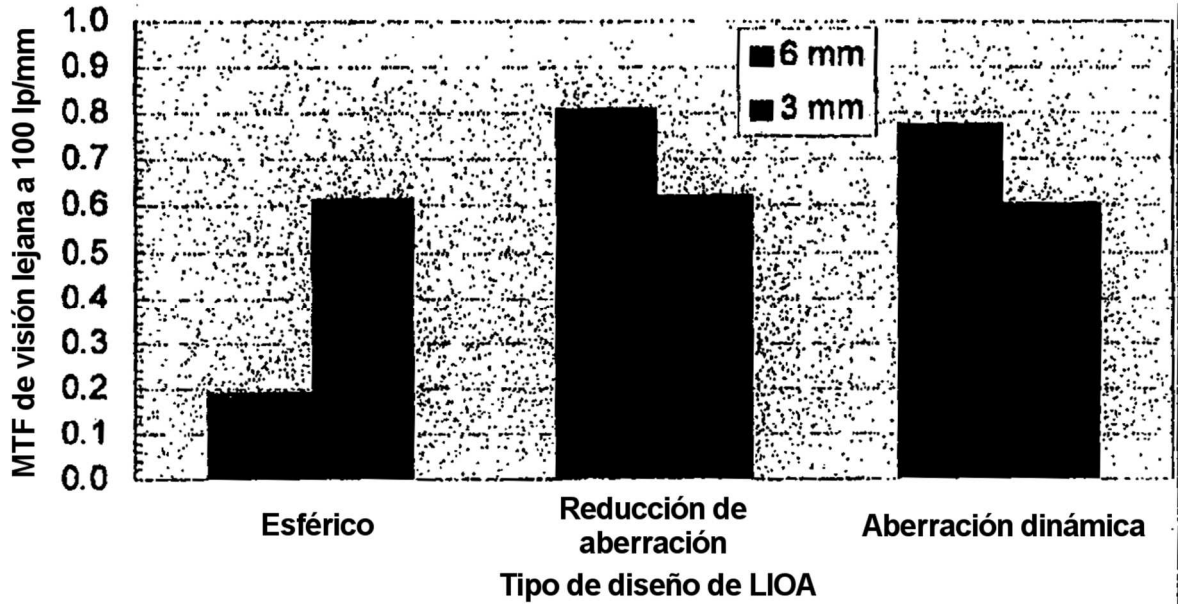


FIG. 7A

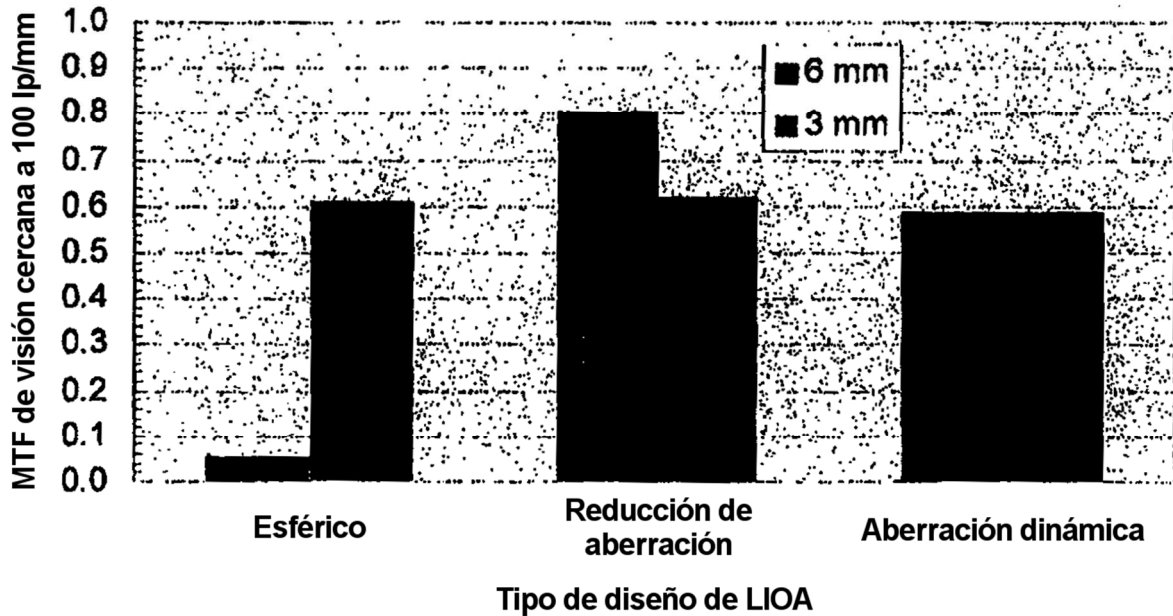


FIG. 7B

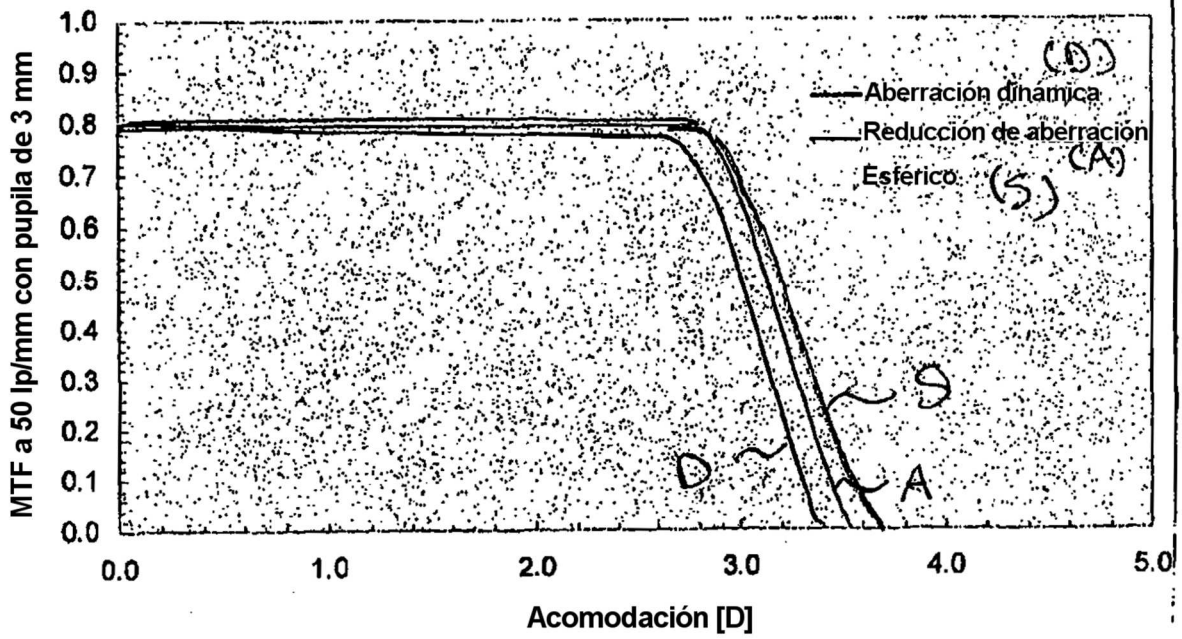


FIG. 8A

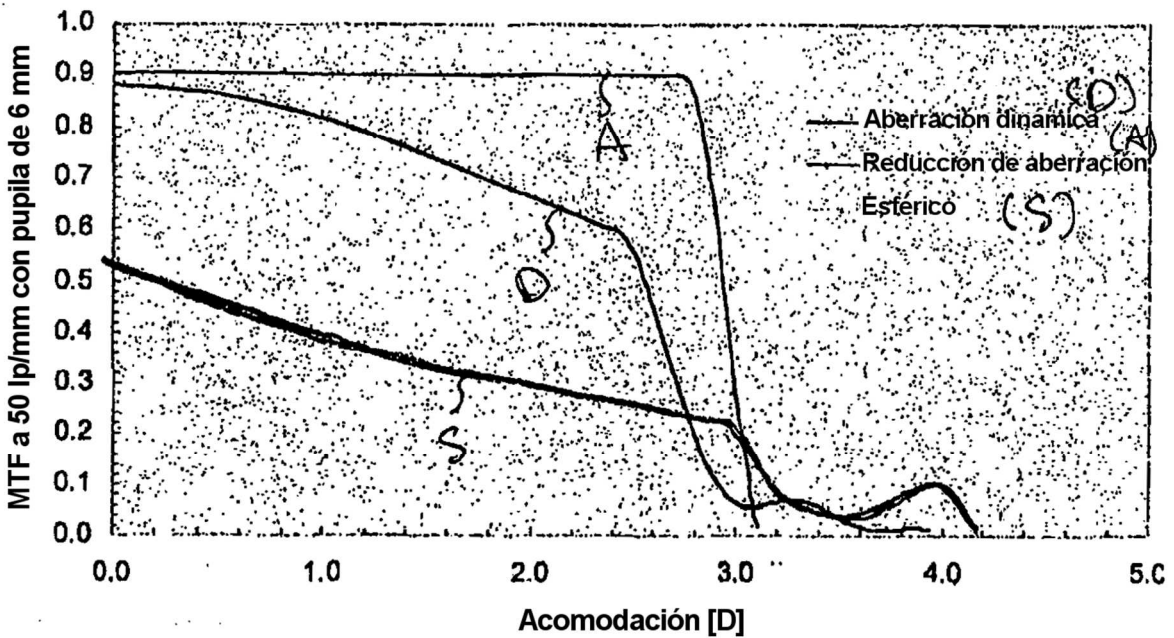


FIG. 8B

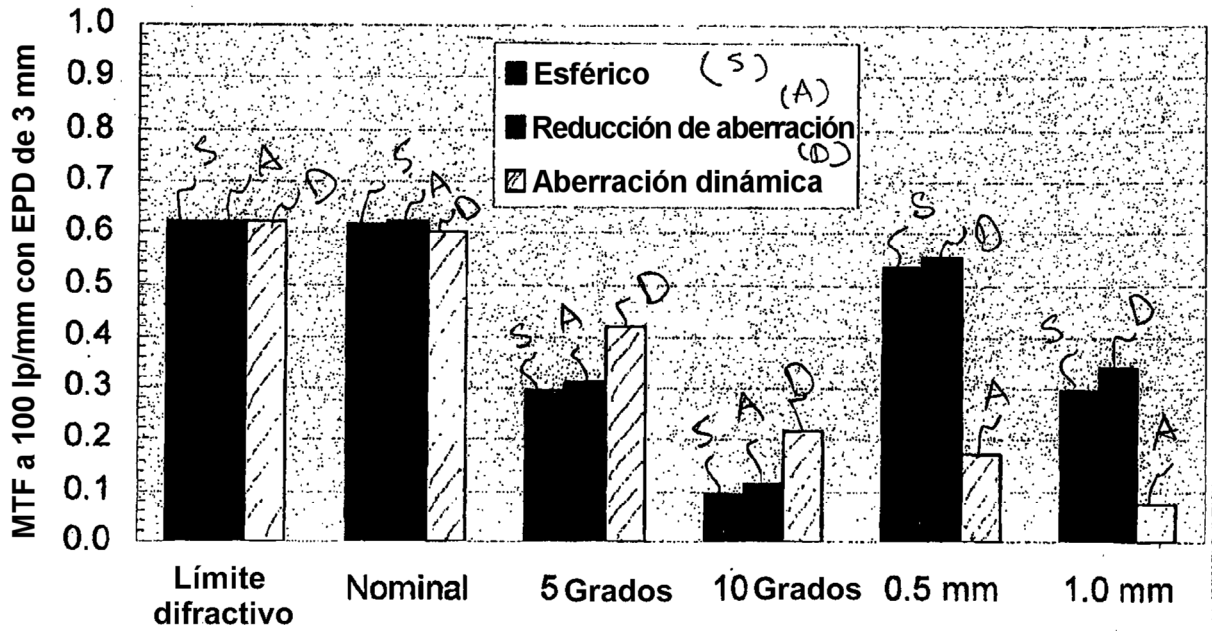


FIG. 9