

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 529**

51 Int. Cl.:
G02C 7/04 (2006.01)
G02C 7/06 (2006.01)
A61F 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10153882 .5**
- 96 Fecha de presentación: **17.02.2010**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2219065**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.08.2010**

54 Título: **Lente intraocular con sectores ópticos**

30 Prioridad:
17.02.2009 NL 2002540
17.02.2009 US 153044 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.04.2012

73 Titular/es:
Procornea Holding B.V.
Kollergang 9
6961 LZ Eerbeek, NL

72 Inventor/es:
Wanders, Bernardus Franciscus Maria y
Wolterinck, Walter Bernardus Johannes

74 Agente/Representante:
Tomas Gil, Tesifonte Enrique

ES 2 379 529 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

Lente intraocular con sectores ópticos

Antecedentes

5 [0001] La presente invención se refiere a una lente oftálmica comprendiendo una parte de lente principal y una parte rebajada.

[0002] Un tipo particular de lentes oftálmicas de este tipo es una lente intraocular multifocal (LIOM). Normalmente comprende una parte de lente con un centro, esta parte de lente se provee en la periferia con partes de soporte (hápticos). Lentes de este tipo se conocen generalmente en el estado de la técnica. Estas se usan para sustitución de la lente del ojo después de operaciones de catarata, por ejemplo, muchos intentos se han hecho para proporcionar LIOM con zonas ópticas concéntricas anulares para distancia de lectura y o visión intermedia. En una "multifocal de visión simultánea", la relación entre la zona de distancia y la zona de cerca es bastante fundamental. Para que este tipo de lente funcione adecuadamente, debe permitir aproximadamente cantidades iguales de luz en el ojo a través de la zona de cerca y la zona de distancia. Esto se requiere de modo que la visión no se inclina hacia ninguna corrección de visión. Obviamente, debido a gran variación en niveles de luz en la vida diaria, que, por consiguiente, cambia el diámetro de la pupila, un compromiso debe alcanzarse sobre la selección del tamaño de cada zona. Este problema, también se refiere como "dependencia pupilar", se complica además mientras la diferencia en el tamaño de la pupila varía sustancialmente de paciente a paciente. Ejemplos de estos tipos de lentes se pueden ver en las pat. US nº 4,636,049, 4,418,991, 4,210,391, 4,162,172; y 3,726,587, y en la solicitud de patente US 2006/0212117, EP0590025B1, US6126286. Otro problema de esas LIOM concéntricas anulares diseñadas son las imágenes fantasma e imagen borrosa debido a la luz dirigida a la mácula en las transiciones de zonas anulares. Otro gran inconveniente de las LIOM actuales es la pérdida de sensibilidad al contraste. La sensibilidad al contraste determina el nivel de contraste mínimo que se puede detectar por un paciente para un objetivo de tamaño dado. Normalmente un intervalo de tamaños de objetivo se usan. De esta manera, la sensibilidad al contraste es diferente a la agudeza. La sensibilidad al contraste mide dos variables, tamaño y contraste, mientras la agudeza mide solo tamaño. La sensibilidad al contraste es muy similar al análisis auditivo, que determina la capacidad del paciente para detectar el nivel mínimo de volumen de varias frecuencias de sonido. Se le pide al paciente que presione un botón cuando el tono es justo apenas audible y que libere el botón cuando el tono puede ya no puede oírse. Este procedimiento se utiliza para prueba de la sensibilidad auditiva en un intervalo de frecuencias de sonido. Si el análisis auditivo se evaluara de manera similar a la agudeza visual, todas las frecuencias de sonido se evaluarían a un nivel de volumen alto.

30 [0003] El problema de la dependencia pupilar de rendimiento de multifocal de visión simultánea se reivindica para disminuirse por otra forma de realización de multifocales de visión simultánea que funcionan bajo los principios de difracción. Ejemplos de estos tipos de lentes se presentaron en la pat. US nº 4,641,934 y 4,642,112. Debido a la naturaleza de la óptica difractiva, al menos 20% de la luz entrante se perderá y los pacientes padecerán halos y deslumbramiento.

35 [0004] Para resolver esta independencia pupilar diferentes intentos se han hecho, tal como se describe en la US 4,923,296 que describe una lente dividida en una serie de zonas sustancialmente diferenciadas de cerca y de distancia. No está claro a partir de esta descripción es cómo estas zonas de visión podrían hacerse o unirse. La WO 92/06400 describe una lente oftálmica esférica. Las zonas de superficie se definen tridimensionalmente formando una superficie lisa desunida y continua conjuntamente la una con la otra. Será claro para un experto en la técnica que esta lente sufrirá una reducción grande de calidad óptica. La US4921496 describe una LIO rotada simétrica radialmente segmentada. Esta LIO no tiene conjunciones en la superficie, ya que los materiales para cada segmento deberían tener índices refractivos diferentes para crear las potencias diferentes.

45 [0005] Otra lente con una parte de distancia y una parte de cerca se describe en EP0858613(B1) y US6409339(B1) por Procomea Holding B.V. del presente invento, y que se incorporan por referencia como si se expusiera completamente. Estos documentos revelan lentes de contacto, pero también se refieren a LIO. Una lente de este tipo difiere de otras lentes en que la parte de lectura se localiza en el límite (imaginario) de la parte de distancia. Se quiere decir que la parte de lectura está sobre o en el radio imaginario del límite externo de la parte de distancia (Rv). Si una parte de lectura se usa, esta se hace preferiblemente como un sector que se extiende del centro de la lente. Esta lente probó tener muchas posibilidades. Hay, no obstante, espacio para otras mejoras.

50 [0006] Se ha descubierto después de análisis clínico extensivo que para una LIOM como se describe en US6409339(B1), el perfil de transición usado para disminuir la altura de paso entre los bordes de sector no es óptimo. Esto produce reducción de la área óptica utilizable y pérdida significativa de energía de la luz y sensibilidad al contraste. La configuración óptica como se describe aquí proporciona una imagen bifocal diferente mientras que una imagen multifocal es necesaria para reducir el halo con tamaño de pupila grande y, al mismo tiempo, tener una visión clara con contraste alto de cerca y a distancia intermedia. Las EP0858613(B1) y US6409339(B1) en particular divulgan que las transiciones deberían ser suaves y tener una curva con forma sigmoidea o de seno para disminuir la diferencia de altura de paso entre ambas partes ópticas. La US6871953, para Mandell, publicada en septiembre de 2003, divulga sorprendentemente el mismo uso de tipos de curva sigmoideas para reducir la altura de paso dando como resultado exactamente la misma configuración de lente como se describe en la EP0858613 (B1). El propósito de las curvas

sigmoideas en ambas aplicaciones en relación a lentes de contacto es hacer las transiciones entre las partes ópticas lo más suave posible para reducir fricción del párpado. Un inconveniente de las transiciones amplias descritas en estas es que esto también crea una alta pérdida de energía de la luz y se encontró que reduce la sensibilidad al contraste. La US6871953 divulga para hacer las transiciones más amplias para crear transiciones incluso más suaves. Debido al principio alternante de una lente de contacto, la lente de contacto hoy en día se mueve sobre el ojo cuando la línea visual está bajo la mirada. La pérdida de luz en las transiciones bajo estas condiciones alternantes para lentes de contacto no se determina. Lo opuesto, no obstante, es verdad para una LIOM. Esta lente se fija en el ojo. El área óptica utilizable de los sectores semimeridianos se reducirán, lo que lleva a menos energía de luz siendo dirigida a la mácula. Esto produce rendimiento óptico pobre tanto para visión de distancia como de cerca. Además, se ha descubierto que debido al hecho de que el tamaño de la pupila varía bajo condiciones diferentes de luz, efectos indeseados de halo pueden ocurrir con tamaño de pupila grande. Por lo tanto, sería provechoso que tenga un perfil de potencia apodizada en la parte de lectura para reducir este fenómeno e introducir multifocalmente en ese mismo momento.

[0007] La US-7.004.585 divulga una lente de contacto multifocal con un diseño mezclado para una zona óptica segmentada. La lente de contacto debería moverse en el ojo fácilmente para hacer la zona de lectura inferior disponible. Además, una transición o zona de mezcla debería diseñarse para evitar imágenes borrosas y fantasma. Para ese fin, la zona de mezcla debería tener una transición suave para mejorar la comodidad de quienes la lleva. Además, la zona de mezcla debería incluir una magnitud de curvatura para refractar luz fuera de la región macular del ojo. Las distintas zonas ópticas deberían influir la una a la otra lo menos posible. En este documento, el titular de la patente parece haber identificado el problema. La solución de hacer la zona de mezcla tan suave como sea posible y proporcionar una zona de lectura en una manera particular, no obstante, parece complejo. El diseño de lente oftálmica puede mejorarse además, no obstante. En particular para dispositivos LIO, hay espacio para otra mejora.

[0008] En la US-7.237.894, una lente oftálmica se diseñó con un centro radial por debajo del centro de la zona óptica.

De esta manera, no obstante, es difícil evitar un desplazamiento de imagen.

Resumen de la invención

[0009] Al menos algunas de las desventajas de la técnica anterior ilustradas arriba se superan por la presente invención.

[0010] Para ese fin, la invención proporciona una lente intraocular (LIO) según la reivindicación 1.

[0011] Esta lente oftálmica permite varias partes ópticas para ser integradas en una única lente, de manera que estas influyen la una en la otra lo menos posible. Por ejemplo, permite una lente oftálmica con una parte de lectura de tal manera que la visión de distancia, visión intermedia y visión de cerca influyen entre sí de poco a nada. De hecho, se descubrió que somos capaces de aumentar significativamente la sensibilidad al contraste de lentes oftálmicas. En el pasado una lente se diseñaría para causar el menor trastorno posible.

[0012] En una forma de realización, dicha parte de mezcla o partes de mezcla tienen una curvatura dando como resultado una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, inferior a aproximadamente 15%, dicha pérdida de luz definida como la fracción de la cantidad de luz en foco de la LIO en comparación con la cantidad luz en foco de una LIO idéntica en ausencia de dicha parte rebajada.

[0013] En una forma de realización de la presente invención, se descubrió que transiciones bruscas se pueden permitir, en cuanto causan que la luz se refracte fuera del eje óptico. De hecho, cuando estas transiciones bruscas causan que la lente retracte menos de 15 % del camino de la luz del eje óptico, esto supondría, por ejemplo, una LIO que proporciona sensibilidad al contraste y visión mejoradas. Esta pérdida de luz de hecho se define para un diámetro de pupila de 4 mm.

[0014] En este aspecto, la luz se define como luz en el intervalo de longitud de onda visual. Normalmente este está entre aproximadamente 400-700 nm.

[0015] La cantidad de luz en foco es la suma de luz enfocada en todos los planos principales focales de la LIO. Así, si, por ejemplo, la parte central tiene dioptría relativa 0, y la parte rebajada tiene una dioptría relativa con respecto a la parte de la lente principal, la lente normalmente tendrá dos planos focales, una para la parte de la lente principal y una para la parte rebajada. Si el área óptica de la parte rebajada es el 30% del área de la lente entera y el área de la parte de la lente principal es 70%, y no hay otra pérdida, entonces el 30 % de la luz enfocada estará disponible en el plano focal de la parte rebajada y el 70% de la luz enfocada estará disponible en el plano focal de la parte de la lente principal.

[0016] En una forma de realización, la lente comprende al menos un sector óptico rebajado semimeridiano que está subdividido radial y/o angularmente en subzonas. Así, puede comprender un sector interno, un sector intermedio y un sector externo, localizado en el límite (imaginario) de la parte de la lente. El sector interno tiene una primera potencia óptica, el sector intermedio que es adyacente al sector interno tiene una segunda potencia óptica. El sector externo adyacente al sector intermedio tiene una tercera potencia óptica. La altura de paso entre los límites de los sectores semimeridianos están unidos por medio de un perfil de transición optimizado para maximizar la energía de la luz dirigida a la mácula y para reducir imágenes borrosas y el halo a tamaños de pupila mayores. Los sectores semimeridianos de la lente oftálmica pueden tener un perfil de potencia continuo. Alternativamente, los sectores ópticos subcirculares se

mezclan juntos. Combinaciones de estos son posibles también. El sector(es) subdividido proporcionará una visión clara a distancias de lectura e intermedias, mientras que la visión de distancia y la sensibilidad al contraste se mantienen comparables con una lente oftálmica monofocal.

5 [0017] La presente invención se puede configurar también para proporcionar lentes que tienen un buen desempeño en ojos con aberraciones corneales variables (p. ej., asfericidades diferentes), incluyendo aberración esférica, sobre un intervalo de descentralización, es decir, desviación entre el eje óptico o centro de la lente y el eje óptico del ojo. Esto significa que posición de la LIO se vuelve menos fundamental.

[0018] En una forma de realización, las lentes oftálmicas de la invención pueden comprender más de tres sub-meridianos subdivididos o zonas de sector semimeridiano.

10 [0019] En otra forma de realización de la invención, la superficie opuesta de la lente puede comprender una superficie esférica, de manera que la aberración esférica residual se reducirá a aproximadamente cero. Por ejemplo, como se describe en, pero no limitado a, las EP1850793, 1857077 o US2006279697 incorporadas aquí como referencia.

15 [0020] En otra forma de realización de la invención, la parte de lectura refractiva rebajada semimeridiana puede comprender límites en todos los lados, y puede incluso comprender una estructura de elemento óptico difractivo adicional (DOE), por ejemplo, como se describe en, pero no limitado a, las EP0888564B1 o EP1194797B1, incorporadas aquí como referencia.

20 [0021] Otro objeto de la invención es proporcionar un método y curvas optimizadas para optimizar y mejorar la pendiente del perfil de transición para disminuir las diferencias de altura entre partes de la lente. Estas partes de mezcla mejoraron la transición entre varias partes. El uso de estas partes de mezcla reducirá la pérdida de energía de luz y maximizará el área(s) óptica utilizable significativamente. Las diferencias de altura de paso en, por ejemplo, bordes semimeridianos se pueden disminuir por métodos usando una trayectoria de coseno o función sigmoidea. En una forma de realización, no obstante, la función de transición optimizada se propone. Estas funciones de transición derivadas concuerdan con los resultados de la función de perfil optimizada que concuerdan con las formas de realización de la invención.

25 [0022] La relación de dimensión y/o de potencia óptica entre varias partes, por ejemplo, una parte de lectura semimeridiana subdividida y una parte de lejos, pueden variar mutuamente. Si dos lentes se usan, para ambos ojos del paciente, una lente se puede configurar para el ojo dominante y la otra lente para el ojo no dominante. Esto quiere decir, la lente para un ojo tiene una configuración diferente para la parte de lectura o parte de distancia que la lente para el otro ojo.

30 [0023] También se conoce que hay una dependencia funcional entre tamaño de pupila y luminancia. Por ejemplo, estos datos se proporcionan en Glen Myers, Shirin Berez, William Krenz and Lawrence Stark, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 258: 813-819 (1990). El tamaño de la pupila es una función del promedio ponderado de las luminancias (normalmente llamado luminosidad) en el campo de vista. El tamaño de pupila está influido mucho más por la parte de la retina asociada a visión central, o foveal que por las áreas externas de la retina.

35 [0024] La siguiente lista presenta algunos niveles de luminosidad de campo y condiciones asociadas "típicas"

| Luminosidad de campo (cd/m ²) | Condición |
|---|---|
| 30 | Iluminación interior tenue |
| 60 | Menos que luz típica de oficina; a veces recomendado para lugares de trabajo de pantalla solo |
| 120 | Típico de oficina |
| 240 | Oficina interior luminosa |
| 480 | Muy luminoso; tareas de interior de precisión |
| 960 | Exterior normal |
| 1920 | Tarde luminosa |

[0025] Una lente semimeridiana personalizada rebajada podría diseñarse usando determinadas condiciones de luminosidad de campo para calcular la parte central óptima y o parte de lectura en relación al diámetro de pupila específico.

5 [0026] Además del sector de distancia correctivo y el sector de cerca semimeridiano subdividido anteriormente descritos, además correcciones se pueden hacer en los sectores de la lente para optimizar o corregir anomalías ópticas particulares. Se debe entender que otra estructura, que hace posible corregir todos los tipos de anomalías ópticas, tal como, pero no limitado a, astigmatismo y aberración esférica, puede disponerse en el lado posterior o anterior de la presente lente.

10 [0027] La parte rebajada, por ejemplo, formada como un sector de lectura semimeridiano, se sitúa en el ojo en una forma de realización en la parte inferior o fondo (inferior) de la lente porque este corresponde a la inclinación natural de la gente para mirar abajo cuando lee. No obstante, la posición del sector de lectura semimeridiano en el ojo no es fundamental y puede situarse, superior, inferior, nasal o temporal. Sectores de distancia y de cerca pueden incluso disponerse en la disposición opuesta para los dos ojos de una persona.

15 [0028] La lente oftálmica o molde descritos aquí pueden hacerse de cualquier manera conocida en la técnica. Para una lente intraocular, por ejemplo, es además posible hacer la parte de la lente y el háptico separadamente y conectarlas juntas más tarde. No obstante, es también posible hacerlas como una entidad. Según una forma de realización, estas partes se han hecho como una entidad por (inyección) moldeo. Un tratamiento posterior para producir las partes de la lente apropiadas se pueden rotar. Como se describe en la US6409339B1, durante esta operación de rotación un fragmento de herramienta puede moverse cada revolución hacia y lejos de la lente en dirección paralela al eje rotacional. Esto hace posible producir la parte de la lente por rotación. Es también posible según una forma de realización ejecutar la rotación tan finamente que una operación de pulido posterior se puede omitir. El material de la lente puede ser cualquier material deseado.

20

[0029] La configuración óptica de la lente oftálmica nueva, por ejemplo, también puede usarse para lentes de contacto y para pacientes con lentes intraoculares pseudofáquicas como las llamadas "lentes *add on*". Esta es una lente adicional o extra que puede colocarse delante de una lente natural existente o delante de una lente intraocular artificial para corregir errores de refracción y o para devolver capacidades de lectura. La lente *add on* podría colocarse en la bolsa, el surco, como incrustación en la córnea o como una lente de cámara anterior.

25

[0030] Con aparato de mapeo de potencia de lente de módem, como el sistema de alta resolución Hartmann Shack, "SHSInspect Ophthalmic" comercialmente disponible de Optocraft Alemania, es posible determinar las potencias refractivas locales y un intervalo amplio de variaciones de superficie pertinentes. Estas mediciones pueden, por lo tanto, identificar una lente hecha conforme a la presente invención muy fácil.

30

[0031] En una forma de realización, la curvatura produce una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, de entre aproximadamente 2% a aproximadamente 15%. De hecho, normalmente la parte rebajada se extiende más de 4 mm en dirección radial. En las cálculos de la pérdida de luz, se hace referencia a las partes de mezcla que se incluyen por o se posicionan dentro de dos meridianos o, para ser más precisos, semimeridianos que van del centro óptico al borde de una lente.

35

[0032] La pérdida real de luz, o mejor pérdida de intensidad, se puede medir con un sistema PMTF que está comercialmente disponible de Lambda-X SA Rue de l'industrie 37 1400 Nivelles Bélgica. Este instrumento es capaz de medir la pérdida de intensidad. El procedimiento para esta medición se discutirá más adelante en la descripción de formas de realización.

40

[0033] En una forma de realización, la parte de la lente principal tiene una potencia óptica de entre aproximadamente -10 a aproximadamente +30 dioptrías.

[0034] En una forma de realización, la parte rebajada se sitúa a una distancia inferior a 1,5 mm de dicho centro óptico.

En este aspecto, la distancia se define como la distancia radial más cercana del centro óptico.

45 [0035] En una forma de realización, la parte de cerca tiene una dioptría relativa de aproximadamente +1,50 dioptrías a aproximadamente +4,00 dioptrías respecto a dicha parte de la lente principal. Así, permite uso como una parte de lectura, por ejemplo. La óptica de la parte central al igual que la de la de la parte de la lente principal y de la parte rebajada puede además diseñarse para ser tórica, cilíndrica o diseñarse para compensar aberraciones de orden más altas.

50 Estos tipos de diseño de lente son como se conocen por un experto en la materia, y pueden además aplicarse a varias partes de la lente de la presente invención.

[0036] En una forma de realización, el límite semimeridiano o límites de dicha lente rebajada con dicha parte de la lente principal tienen una curvatura dado que produce una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, por debajo de aproximadamente 10%. Esta pérdida de luz muy baja, en particular, en

combinación con la refracción fuera del eje óptico, ya produce una sensibilidad al contraste más alta y capacidad de lectura buena.

[0037] En una forma de realización, la parte de la lente principal tiene una curvatura con sustancialmente un radio de curvatura R_v , y el límite externo del hueco, es decir, su superficie, se extiende en o dentro del radio de curvatura R_v .

5 [0038] En una forma de realización, la lente oftálmica comprende además una parte central que tiene una potencia óptica relativa de $-2,0$ a $+2,0$ dioptrías respecto a dicha parte de la lente principal. Así, puede ser posible requerir una parte rebajada para que sea menos profunda y así las partes de mezcla tienen menos influencia.

10 [0039] En una forma de realización, el tamaño de dicha parte central es de manera que esta encaja dentro de un círculo de circunscripción con un diámetro de aproximadamente $0,2-3,0$ mm. Así, se descubrió que visión de distancia se influiría lo menos posible por la parte rebajada. En una forma de realización, el tamaño de dicha parte central es de manera que esta encaja dentro de un círculo de circunscripción con un diámetro de aproximadamente $0,2-2,0$ mm. En una forma de realización, dicha parte central es sustancialmente circular.

15 [0040] En una forma de realización de la lente con una parte central, la lente comprende otra parte de mezcla entre la parte central y la parte rebajada. Esta parte de mezcla es normalmente concéntrica o casi concéntrica con respecto al eje óptico. En una forma de realización, la otra parte de mezcla tiene una transición suave. Alternativamente, la pendiente tiene un pliegue. En esta forma de realización, el primer derivado de la pendiente es discontinuo. Así, el radio de curvatura de la superficie tiene un pliegue. Una ventaja de esta forma de realización es que la parte rebajada será menos profunda con respecto a la parte de la lente principal. Alternativamente, la otra parte de mezcla está cerca, se aproxima o es una función de paso. Como esta otra parte de mezcla es concéntrica, causa pequeño trastorno en la visión.

20

[0041] En una forma de realización, la parte rebajada se une por semimeridianos que pasan por dicho centro óptico, la parte rebajada teniendo así forma de una zona meridiana. De hecho, las partes de mezcla que mezclan la parte de la lente principal y la parte rebajada siguen así meridianos en lo posible. De hecho, tal parte de mezcla se dispondrá entre dos semimeridianos que pasan través del centro óptico.

25 [0042] En una forma de realización comprendiendo dicha parte central, dicha parte rebajada está al menos un límite unido por dicha parte central.

[0043] En una forma de realización comprendiendo dicha parte central, dicha parte central tiene una sección transversal de aproximadamente $0,60-1,20$ mm. Esto permite una parte encajada que influye, por ejemplo, sensibilidad al contraste lo menos posible.

30 [0044] En una forma de realización comprendiendo dicha parte rebajada formada como una zona meridiana, dicha parte rebajada tiene un ángulo comprendido entre los lados de aproximadamente $160 - 200$ grados. En tal forma de realización, al menos dos límites con la parte de la lente principal sustancialmente siguen meridianos. En la práctica, estos límites se forman por partes de mezcla. Como ya se ha dicho anteriormente, normalmente tales partes de mezcla se sujetan entre dos semimeridianos. En la práctica cuando se usa una curva optimizada explicada más adelante, la parte de mezcla exactamente no sigue un meridiano, pero se curvará ligeramente. En una forma de realización, dicha parte rebajada tiene un ángulo comprendido entre los lados de aproximadamente $175-195$ grados.

35

[0045] En una forma de realización, la lente oftálmica tiene una sección transversal de aproximadamente $5,5-7$ mm. En particular en caso de una lente intraocular, u otro lente ocular soportada como una lente de contacto, estará en tal intervalo de diámetro.

40 [0046] En una forma de realización, la parte de la lente principal está en forma de una lente de distancia.

[0047] En una forma de realización, la parte rebajada forma una parte de lectura.

[0048] En una forma de realización comprendiendo dicha parte central, dicha parte rebajada se une por dos semimeridianos y una línea de latitud concéntrica y a una distancia desde dicha parte central.

45 [0049] En una forma de realización, dicha parte encajada comprende al menos dos subzonas con potencias ópticas que difieren.

[0050] En una forma de realización, estas subzonas son concéntricas.

[0051] En una forma de realización, potencias ópticas de dichas subzonas aumentan en dirección radial. En una forma de realización, potencias ópticas de dichas subzonas reducen en dirección radial

50 [0052] En una forma de realización, la potencia óptica de la parte rebajada aumenta en dirección radial. Así, es posible proporcionar una parte de visión intermedia entre la parte de la lente principal y, si está presente, parte central, y una parte de cerca o de lectura proporcionada en la parte rebajada. La mezcla entre estas regiones de potencia óptica crecientes o zonas deberían diseñarse cuidadosamente. Puede requerir compensación de menos altura de paso en las partes de mezcla.

[0053] En una forma de realización, dicha parte rebajada comprende una parte de óptica difractiva. La óptica difractiva puede superponerse sobre la superficie de la parte rebajada. En general, una parte óptica difractiva superpuesta en una superficie de lente se conoce. En el caso de una parte rebajada, no obstante, puede permitir que la parte rebajada sea menos profunda.

5 [0054] En una forma de realización, la parte rebajada comprende un primera subzona central y otras dos subzonas circunferencialmente vecinas a ambos lados de dicha primera subzona. En una forma de realización de esta, dicha primera subzona tiene una potencia óptica mayor que la potencia óptica de las otras subzonas. En una forma de realización, los otras dos subzonas tienen una potencia óptica mayor que la potencia óptica de dicha parte de lente restante.

10 [0055] En una forma de realización los meridianos delimitan dicha parte rebajada. De hecho, dos semimeridianos delimitan dicha parte rebajada, definiendo así la parte rebajada como una parte de sector o parte de cuña (como una cuña de pastel). Si la lente oftálmica tiene una parte central tal como se ha definido anteriormente, esta parte de sector tiene una parte de la formación de una parte de sector con una parte de la punta tomada de fuera.

15 [0056] En una forma de realización, las partes de mezcla están dentro del meridiano que incluye un ángulo inferior a 17° , en una forma de realización particular menos de 15° . En una forma de realización, partes de mezcla pueden incluso diseñarse para estar en el meridiano que incluye un ángulo inferior a 5° . Esto, no obstante, requiere un diseño muy atento de las curvas e inclinaciones o derivados de las curvas.

20 [0057] En una forma de realización la dicha inclinación de las partes de mezcla tiene una curva S y tienen una pendiente con una inclinación o primer derivado en un intervalo central de la parte de mezcla a 1,6 mm de dicho centro óptico superior a 0,1, en una forma de realización más de 0,4 a su parte más pendiente. En una forma de realización dichas partes de mezcla tienen una pendiente con una inclinación o derivado en un intervalo central de la parte de mezcla a 2,8 mm de dicho centro óptico superior a 0,2, en una forma de realización más de 0,7 a su parte más inclinada.

25 [0058] En una forma de realización, al menos una de dichas partes de mezcla, en particular, al menos una parte de mezcla semimeridiana, tiene una curva con forma de S que sigue una primera curva parabólica que va de la superficie de la parte de la lente principal hacia la superficie de la parte rebajada, con una parte de curva intermedia conectando a dicha primera curva parabólica, y continuando con siguiendo una segunda curva parabólica que termina en la superficie rebajada.

30 [0059] En una forma de realización, dicha parte de curva intermedia en su parte más pendiente tiene un primer derivado de al menos 0,05 a 0,4 mm de dicho centro óptico, en una forma de realización al menos de 0,1 a 0,8 mm, en una forma de realización al menos de 0,15 a 1,2 mm, en una forma de realización al menos de 0,2 a 1,6 mm, en una forma de realización al menos de 0,3 a 2,0 mm, en una forma de realización al menos de 0,4 a 2,4 mm, en una forma de realización al menos de 0,5 a 2,8 mm.

35 [0060] La invención además se refiere a una lente intraocular *add on* para insertarse en la bolsa, el surco, como incrustación en la córnea o una lente de cámara anterior, comprendiendo la lente oftálmica según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dicha parte de la lente principal tiene una potencia óptica de aproximadamente -10 a +5 dioptrías.

40 [0061] La invención además se refiere a una lente oftálmica comprendiendo una parte de lente principal con sustancialmente un radio de curvatura R_v , una parte central sustancialmente circular con una primera propiedad óptica y con una sección transversal de aproximadamente 0,2-2,0 mm, y una parte meridiana comprendiendo un hueco que está delimitado por dicha parte sustancial circular, por dos meridianos que pasan a través del centro de dicha parte circular, y por un límite inferior que es sustancialmente concéntrico respecto a dicha parte circular, dicha parte meridiana formada como un hueco en dicha lente, el límite externo del hueco se extiende sobre o en el radio de curvatura R_v , dicha parte meridiana comprendiendo una parte de lectura.

45 [0062] La invención además se refiere a un método para la producción de una de las lentes oftálmicas anteriormente descritas, comprendiendo un paso de rotación, en el que una forma preliminar de lente se sitúa en un soporte de maquinación rotante y se somete a la influencia de uno o más dispositivos de eliminación de material, caracterizada por el hecho de que durante la rotación la lente rotante y dicho dispositivo de eliminación de material se mueven hacia y lejos el uno del otro en dirección al eje de rotación, para formar al menos una parte rebajada en dicha lente oftálmica.

Este método de producción permite producir lentes con las propiedades requeridas.

50 [0063] La invención además se refiere a una lente multifocal correctiva ocularmente soportada provista de una parte de lente central sustancialmente circular, una parte de lente inferior en una parte de lente inferior vecina a dicha parte de lente central, y otra parte de lente, la parte de lente inferior comprende un hueco comprendiendo dos lados que van de dicha parte de lente central hacia el borde de la lente, el límite externo de la parte de lente inferior se extiende en o dentro de una esfera imaginaria con su origen y radio de curvatura coincidiendo con el radio R_v de dicha otra parte de lente, donde dichos dos lados proporcionan inclinación de la otra superficie de parte de lente a la superficie rebajada de la parte de lente inferior, dicha inclinación después de una primera curva parabólica pasa a través de otras superficies

de parte de lente hacia la superficie de parte de lente inferior, y continuando con siguiendo una segunda curva parabólica terminando en la superficie rebajada.

5 [0064] La invención además se refiere a una lente oftálmica comprendiendo una parte de lente principal, una parte rebajada, un centro óptico y un eje óptico sustancialmente a través de dicho centro óptico, dicha parte de lente principal con al menos un límite con dicha parte rebajada, dicha parte rebajada situada a una distancia desde dicho centro óptico, límites de dicha lente rebajada con dicha parte de lente principal se forman como partes de mezcla que se forman para refractar luz fuera de dicho eje óptico, dicha parte de lente principal, parte central, parte rebajada y partes de mezcla mutuamente situadas y formadas para suministrar una característica LogCS bajo condiciones fotópicas de luz, normalmente a aproximadamente 85 Cd/m^2 , dentro de 6 meses postoperatorios, en una frecuencia espacial (cpd) entre 10 3-18 que está al menos entre la norma de población de 11-19 años y 50-75 años.

[0065] En una forma de realización de esta lente, en una frecuencia espacial (cpd) entre aproximadamente 6 y 18, su característica LogCS bajo condiciones fotópicas de luz, dentro de 6 meses postoperatorios, normalmente a aproximadamente 85 Cd/m^2 , está en el intervalo de normalidad sobre la norma de población de 20-55 años adultos con ojos sanos.

15 [0066] La invención además se refiere a una lente intraocular comprendiendo una parte de lente principal, una parte rebajada situada a una distancia desde un centro óptico, y una parte central en dicho centro óptico y que es sustancialmente circular, tiene un diámetro de aproximadamente 0,8 a 2,8 mm, y a un lado delimitador dicha parte rebajada, donde el diámetro de dicha parte central se adapta al diámetro de pupila del que la lleva.

20 [0067] En una forma de realización, el diámetro de dicha parte central es aproximadamente de 20-40 % del diámetro de pupila del que la lleva a condiciones de iluminación de oficina, es decir 200-400 lux.

Así, la LIO puede hacerse a medida.

25 [0068] Varios aspectos y/o características descritos en este texto pueden combinarse. Características y aspectos pueden también formar parte de una o más referencias de aplicaciones divisionales, por ejemplo, para aspectos de la producción dando como resultado métodos, tipos específicos de lentes oftálmicas, como la mencionada una vez en este texto, o a características específicas como la mezcla o zonas de transición, la parte rebajada y sus características, o la parte central.

Descripción de formas de realización con referencia a los dibujos

30 [0069] La invención se ilustra además en referencia a formas de realización de una lente oftálmica de sector multifocal, (MSOL) mostrado en los dibujos adjuntos, que se muestran en:

Figura 1 una sección transversal de un ojo humano;

Figura 2 una sección transversal de un ojo humano con una LIO;

Figura 3 una vista frontal de una forma de realización de una MSIOL con una parte óptica central y una parte rebajada;

Figura 4 una vista lateral de la MSIOL según la figura 3;

35 Figura 5 una vista en corte transversal sobre la línea IV de la MSIOL según la figura 3;

Figura 6 un detalle de la sección transversal según la fig. 5;

Figura 7 una vista lateral frontal en perspectiva de la MSIOL según la fig. 3;

Figura 8 una vista lateral posterior en perspectiva de la MSIOL según la fig. 3;

40 Figura 9 una vista frontal de otra forma de realización de una MSIOL con una parte rebajada subdividida en tres sectores ópticos meridionalmente divididos y un sector central óptico;

Figura 10 una vista lateral de la MSIOL según la figura 9;

Figura 11 una vista lateral frontal en perspectiva de la MSIOL según la figura 9;

Figura 12 una vista frontal de otra variante de la MSIOL con un elemento de sector de semimeridiano rebajado difractivo;

45 Figura 13 una vista lateral de la MSIOL según la figura 12;

Figura 14 una vista en corte transversal sobre la línea XIV de la MSIOL según la figura 12;

Figura 15 un detalle de la sección transversal según la fig. 14;

Figura 16 una vista lateral frontal en perspectiva de la MSIOL según la fig. 12;

Figura 17 una comparación entre una trayectoria de transición optimizada y trayectoria de coseno de una transición o zona de mezcla o parte, que ilustra que en el mismo tiempo con el perfil optimizado un desplazamiento más grande es posible;

Figura 18 la función sigmoidea sin ninguna escala ni traducción en el intervalo $[-10,10]$;

Figura 19 la aceleración eficaz o experimentada (segundo derivado) durante la transición sigmoidea;

Figura 20 la reducción de la anchura de zona de transición calculando el tiempo de transición necesitado y distancia según el método descrito en este documento localmente, la anchura de zona de transición es cero cerca del centro;

Figuras 21-26 gráficos que muestran la distribución de energía en varias partes de diferentes formas de realización de lentes oftálmicas;

Figuras 27-29 datos medidos de lentes oftálmicas;

Figuras 30-32 gráficos de la pendiente de mezcla o zonas de transición o partes;

Figuras 33 y 34 resultados de prueba que muestran el LogCS frente a la frecuencia espacial;

Figura 35 mostrando un modelo de superficie de una de las formas de realización;

Figura 36 una disposición esquemática de instrumento de medida PMTF.

Descripción detallada de las formas de realización

[0070] Una forma de realización preferida de la invención se describe ahora con detalle. En referencia a los dibujos, números similares indican partes similares en todas las vistas. Como se usa en la descripción aquí y en todas las reivindicaciones, los siguientes términos toman los significados explícitamente asociados aquí, a menos que el contexto claramente lo dictamine de otra manera: el significado de "un", "una" y "el/la" incluye referencia plural, el significado de "en" incluye "en" y "sobre". A menos que se defina de otra manera, todos los términos científicos y técnicos usados aquí tienen los mismos significados como comúnmente se entiende por un experto en la técnica a la que esta invención pertenece. Generalmente, la nomenclatura usada aquí y los procedimientos de laboratorio se conocen y emplean de forma común en la técnica. Métodos convencionales se usan para estos procedimientos, como aquellos proporcionados en la técnica y varias referencias generales.

[0071] Se debe entender que los sectores ópticos anteriores son preferiblemente concéntricos con el centro geométrico de la superficie posterior.

[0072] Un "meridiano vertical" se refiere a una línea imaginaria que va verticalmente desde el principio, a través del centro, al fondo de la superficie anterior de una MSIOL cuando dicha MSIOL se mantiene en una orientación predeterminada en el ojo.

[0073] Un "meridiano horizontal" se refiere a una línea imaginaria que va horizontalmente del lado izquierdo, a través del centro, a la derecha de la superficie anterior de una MSIOL cuando dicha MSIOL se mantiene en una orientación predeterminada en el ojo.

Los meridianos verticales y horizontales son perpendiculares entre sí.

[0074] "Parches superficiales" se refiere a combinaciones de curvaturas y líneas que son continuas en el primer derivado, preferiblemente en el segundo derivado, entre sí.

[0075] Un "límite externo", en referencia a una zona otra que una zona central óptica en la superficie de una MSIOL, se refiere a uno de dos bordes periféricos de esta zona que está además lejos del centro geométrico de la superficie anterior.

[0076] Un "límite interno", en referencia a una zona otra que una zona central óptica en la superficie de una MSIOL, se refiere a uno de dos bordes periféricos de esta zona que está más cerca al centro geométrico de la superficie anterior.

[0077] Un "semimeridiano" se refiere a una línea imaginaria que va radialmente del centro geométrico de la superficie anterior de una MSIOL al borde de la lente.

[0078] La "parte superior del meridiano vertical" se refiere a meridiano vertical de una mitad que está sobre el centro geométrico de la superficie anterior de una MSIOL, cuando dicha lente se mantiene en una orientación predeterminada dentro de un ojo.

5 [0079] La "parte inferior del meridiano vertical" se refiere a meridiano vertical de una mitad que está por debajo del centro geométrico de la superficie anterior de una MSIOL, cuando dicha lente se mantiene en una orientación predeterminada dentro de un ojo.

[0080] Una "transición continua", en referencia a dos o más partes, significa que la pendiente de estos sectores son continuas al menos en el primer derivado, preferiblemente en el segundo derivado.

10 [0081] Un "plano meridiano vertical" se refiere a un plano que corta a través del eje óptico de una MSIOL y un meridiano vertical en la superficie anterior de la MSIOL.

[0082] Como se utiliza en este caso en referencia a los sectores o partes de una MSIOL, los términos "potencia de línea base", "potencia óptica", "potencia añadida" y "dioptría de potencia" se refieren a la potencia óptica o de dioptría eficaz de una parte cuando la lente es parte de un sistema de lente ocular tal como, por ejemplo, una córnea, una MSIOL, una retina y el material circundante a estos componentes. Esta definición puede incluir los efectos de la divergencia o ángulo de los rayos de luz intersectando la superficie de la MSIOL provocada por potencia de la córnea. En ejemplos determinados, un algoritmo para el cálculo de la potencia de dioptría puede empezar con un modelo de trazado de rayos del ojo humano incorporando un sector subdividido de MSIOL. En una ubicación particular radial en la superficie de MSIOL, la ley de Snell se puede aplicar para calcular el ángulo del rayo de luz después de la refracción. La longitud del trayecto óptico de la distancia entre un punto en la superficie y el eje óptico (eje de simetría) se puede utilizar para definir el radio local de curvatura de la onda local anterior. Utilizando este enfoque, la potencia de dioptría es igual a la diferencia en índices de refracción dividido por este radio local de curvatura.

[0083] La presente invención tiene por objetivo mejorar las lentes oftálmicas, y, en un aspecto, se refiere a una lente intraocular multifocal de sector nueva (MSIOL) con al menos dos sectores ópticos semimeridianos donde al menos uno de los sectores ópticos semimeridianos está dividido radial o angularmente y podría comprender un sector interno, un sector intermedio y un sector externo, localizados en el límite (imaginario) de la parte de distancia. El sector interno tiene una primera potencia óptica, el sector intermedio adyacente a la primera potencia óptica tiene una segunda potencia óptica. El sector externo adyacente a la segunda potencia óptica tiene una tercera potencia óptica mientras que la altura de paso entre los límites de los sectores semimeridianos están unidos mediante un perfil de transición optimizado para maximizar energía de luz dirigida a la mácula y para reducir imágenes borrosas y el halo en tamaño de pupila mayor. Los sectores semimeridianos de lentes oftálmicas podrían tener un perfil de potencia continua o los sectores ópticos subcirculares específicos que se mezclan o combinaciones de estos. El sector(s) subdividido proporcionará una visión clara para distancias de lectura e intermedia. Mientras que la visión de distancia y sensibilidad al contraste permanecen comparables con una lente oftálmica monofocal con imágenes borrosas y el halo reducidos a tamaño de pupila mayor. La presente invención puede también configurarse para realizar bien a través de ojos con aberraciones corneales diferentes (p. ej., asfericidades diferentes), incluyendo la aberración esférica, sobre un intervalo de descentración.

[0084] La lente oftálmica puede diseñarse para tener una potencia nominal óptica para visión de distancia, definida como "potencia de línea base", normalmente de la parte de la lente principal, una "potencia añadida" encima de la potencia óptica nominal o potencia de línea base, y destinado para la visión de lectura. Frecuentemente, también una potencia óptica intermedia se define como adecuada para el entorno particular en la que va a usarse. En caso de una MSIOL, se anticipa que la potencia óptica nominal o potencia de línea base de una MSIOL generalmente dentro de un intervalo de aproximadamente -20 dioptrías a por lo menos aproximadamente +35 dioptrías. La "potencia añadida" generalmente estará en un intervalo de aproximadamente +1 dioptría a por lo menos aproximadamente +5 dioptrías. De manera deseable, la potencia óptica nominal de la MSIOL está entre aproximadamente 10 dioptrías a por lo menos aproximadamente 30 dioptrías, la "potencia añadida" estará entre aproximadamente +1,50 y +4,0 dioptrías. En determinadas aplicaciones, la potencia óptica nominal de la MSIOL es aproximadamente +20 dioptrías, y la potencia añadida aproximadamente +3,00 dioptrías, que es una potencia óptica típica necesaria para reemplazar el cristalino natural en un ojo humano.

[0085] En la figura 1, una vista esquemática de un ojo humano 100 con su lente natural 106 se muestra. El ojo tiene un cuerpo vítreo 101 y córnea 102. El ojo tiene una cámara anterior 103, iris 104 y músculo ciliar 105 que sostienen la lente. El ojo tiene una cámara posterior 107. En la figura 2, el ojo 100 se muestra con una lente intraocular 1 que reemplaza la lente original 106.

[0086] En la figura 3, una forma de realización de una lente intraocular (LIO) 1 se muestra que tiene hápticos 2 y una zona de lente o parte de lente 3. La parte de lente 3 es la parte real ópticamente activa de la LIO 1. Los hápticos 2 pueden tener una forma diferente. En esta forma de realización, la parte de lente 3 tiene una parte central 6 que es normalmente sustancialmente circular. Se puede desviar un poco de un círculo absoluto, pero en más formas de realización es tan redonda o circular como sea posible en el otro diseño de lente específico. La parte de lente 3 además tiene una parte meridiana en un área rebajada. Este hueco está por debajo de la superficie de la superficie curvada de la parte de lente restante 4 de parte de lente 3. En otras palabras, la superficie curvada de la parte de lente restante 4 tiene un radio de curvatura R_v , y el hueco de la parte meridiana se extiende en o dentro del radio de curvatura R_v (ver

figura 4). Debe aclararse que la superficie curvada de la parte de lente puede ser no esférica o asférica. De hecho, la superficie curvada puede ser como se describe en, por ejemplo, la US 7.004.585 en las columnas 6, 7 y 8. En particular los polinomios de Zernike pueden utilizarse para describir cualquier superficie curvada de una lente oftálmica. En esta forma de realización, la parte meridiana se divide en dos subzonas concéntricas 7 y 8.

5 [0087] Las varias partes, es decir, la parte central 6, parte de meridiano interna 7 y parte de meridiano externa 8, cada una tiene un ángulo de refracción o potencia que difiere de la parte de lente restante 4. Cuando la parte de lente 3 se considera como parte de una esfera con un eje a través del cruce de las líneas R y S, luego la parte central 6 puede también definirse como unida por una primera línea de latitud. En esta definición, la subzona 7 puede definirse como unida por dos meridianos, la primera línea de latitud y una segunda línea de latitud. Siguiendo esta misma definición, la subzona 8 puede definirse como unida por los dos meridianos, la segunda línea de latitud y una tercera línea de latitud. En más formas de realización, la parte meridiana (en la cartografía un área de esta forma se refiere también como "zona longitudinal") se refiere como una "parte de lectura".

10 [0088] La MSIOL comprende una parte de cerca o parte de lectura que está delimitado sobre o en la zona de lente 3 mientras que la transición entre esas partes se realiza con una función de coseno o función sigmoidea, pero, de manera deseable, juntado con la función de transición optimizada discutida más adelante. En términos generales, estas curvas de transiciones generales se refieren como curvas con forma de S. Estas transiciones tienen una anchura y se refieren a zona de mezcla o zona de transición.

15 [0089] La parte de cerca o de lectura en una forma de realización tiene un ángulo α incluido entre aproximadamente 160 y 200 grados. En otra forma de realización, el ángulo comprendido entre los lados está entre aproximadamente 175 y 195 grados. La parte de lectura puede subdividirse ópticamente en al menos dos sectores de círculos imaginarios 7 y 8, formar una superficie de transición continua radial sobre el eje óptico o eje geométrico. La forma requerida (y curvatura de la superficie rebajada) de esos sectores de círculo 7, 8 pueden calcularse usando la técnica de trazado de rayos para controlar al menos la cantidad de aberración esférica y además para evitar saltos de imagen. Las líneas de referencia en la parte de lente 3 son imaginarias y para fines de referencia dimensional. No obstante, no son visibles en el producto real.

20 [0090] La parte de lente 3 en esta forma de realización tiene un diámetro exterior entre aproximadamente 5,5 y aproximadamente 7 mm. En una forma de realización preferida, es aproximadamente 5,8-6,2 mm. La parte central o sector interno 6 tiene una potencia óptica al menos igual a la potencia de línea base. De manera deseable, la potencia óptica del sector de círculo interno o parte central 6 está entre 0% y 100% de la potencia añadida.

25 [0091] La parte central 6 en una forma de realización tiene un diámetro de entre aproximadamente 0,2 mm y 2,0 mm. En una forma de realización, el diámetro de la parte central 6 está entre aproximadamente 0,60 y 1,20 mm. En el caso de que la parte central 6 no sea absolutamente redonda, es un círculo de circunscripción con el intervalo de diámetro mencionado aquí.

30 [0092] Sector de círculo o parte central 6 tiene una potencia óptica al menos igual a la potencia de línea base. En esta forma de realización, la parte rebajada tiene dos subzonas indicadas, una primera subzona 7 cerca de la parte central 6. Esta subzona interna tiene un radio de latitud de entre aproximadamente 1,5 y 2,3 mm. En una forma de realización, está entre aproximadamente 1,8 y 2,1 mm. La subzona externa 8 tiene una potencia óptica igual o mayor que la potencia de línea base. En una forma de realización, la potencia óptica está entre 0 y 100% del la potencia añadida. Así, forma un intermedio entre la parte de lente principal o la parte central y un parte de cerca en la subzona externa 8. El radio de latitud de la subzona externa 8 tiene una dimensión entre aproximadamente 2,2 y 2,7 mm. En una forma de realización, esta puede estar entre aproximadamente 2,3 y 2,6 mm. En esta forma de realización, la parte de lente principal casi continúa a la parte 9. El radio de límite externo donde la parte de lente principal de la lente 4 continúa puede tener un radio de latitud de entre aproximadamente 2,6 y 2,8 mm. En una forma de realización alternativa, varias subzonas concéntricas se pueden proporcionar para que la parte rebajada altere o influya la parte central para visión de distancia lo menos posible.

35 [0093] La LIO 1 tiene dos zonas semimeridianas de mezcla o partes de mezcla 10 delimitadoras a la parte encajada 7, 8. Estas partes semimeridianas de mezcla delimitadoras 10 tienen un ángulo γ . En una forma de realización, el ángulo será menos de 35°. En una forma de realización, será menos de 17°. En particular, el ángulo γ será menos de 5°. Normalmente, será más de aproximadamente 1°. La parte rebajada en esta forma de realización además tiene una zona de mezcla 11 que es concéntrica con respecto al eje óptico R. La parte de lente principal 4 continúa en la región concéntrica indicada con el número de referencia 9.

40 [0094] En las figuras 9-11, varias vistas de otro ejemplo de una lente oftálmica se muestran, como una lente intraocular.

45 En esta forma de realización, otra vez la parte rebajada se divide en subzonas. Aquí, las dos subzonas externas 7 están dispuestas angularmente a ambos lados de una subzona central 8'. La MSIOL comprende una parte de lente principal 4 con una parte rebajada un ángulo comprendido total α entre 160 y 200 grados, de manera deseable, entre 175 y 195 grados. El ángulo comprendido entre los lados de las subzonas externas 7 está entre aproximadamente 10 y 30 grados. En una forma de realización, está entre aproximadamente 15 y 25 grados. El ángulo comprendido β de la subzona

central 8' está entre aproximadamente 80 y 120 grados. En una forma de realización, la subzona central 8' está entre 85 y 100 grados.

5 [0095] El ángulo comprendido total de las subzonas 7, 8' para visión de cerca e intermedia se unen por la parte de lente principal 4. Las transiciones o zonas de mezcla entre las varias partes siguen una función de coseno o función sigmoidea. En una forma de realización, siguen una función de transición optimizada descrita abajo. Debido a este perfil de transición optimizada al menos una de esas líneas de transición imaginarias será curvada.

10 [0096] Las subzonas 7 y 8' están dispuestas radiales alrededor del eje geométrico. La forma óptica de esas partes de círculo son trazadas por rayos para controlar la cantidad de aberración esférica y además para evitar saltos de imagen. Las líneas de referencia en las partes de lente son imaginarias y para fines de referencia dimensional solo y no son visibles en el producto real. La parte de lente tiene una dimensión de diámetro exterior entre 5,5 y 7 mm. En una forma de realización, el diámetro es aproximadamente 6 mm. La parte central 6 tiene una potencia óptica al menos igual a la potencia de línea base de la parte de lente principal. El diámetro de la parte central tiene un diámetro de entre aproximadamente 0,2 mm y 2,0 mm. En una forma de realización, el diámetro está entre aproximadamente 0,40 y 1,20 mm. La parte rebajada puede tener una anchura radial de entre aproximadamente 1,5 y 2,3 mm. En una forma de realización, la anchura está entre aproximadamente 1,8 y 2,1 mm. En una forma de realización, las subzonas externas 7 tienen una potencia óptica de aproximadamente 30 a 60 % de la potencia añadida, es decir, aproximadamente 30-60 % de la dioptría relativa de la parte central 8'.

20 [0097] La MSIOL como se muestra en la figuras 3-8 puede también usarse en conjunción con otro dispositivo óptico como un elemento difractivo óptico (DOE) 20. En una forma de realización mostrada en las figuras 12-16, tal forma de realización se muestra. Esa MSIOL comprende una parte de lente encajada 7 formada como una parte refractaria semimeridiana con una primera potencia óptica. El ángulo comprendido total γ de la parte rebajada puede estar entre aproximadamente 160 - 200 grados. En una forma de realización, el ángulo comprendido está entre aproximadamente 175 - 195 grados. El elemento óptico difractivo 20 se superpone en la superficie de la parte rebajada 7. Se muestra en una manera exagerada con características a escala mayores. En la práctica, las características del elemento óptico difractivo 20 puede estar alrededor de aproximadamente 0,5-2 micras en tamaño. En una forma de realización, el elemento óptico difractivo 20 se puede proporcionar en la parte externa radial de la parte rebajada 7. Así, la parte central 6 puede tener la misma potencia óptica o diferir solo hasta aproximadamente 1 dioptría con respecto a la parte de lente principal 4. La primera subzona de la parte rebajada 7 puede diferir 0,5-2 dioptrías con respecto a la parte central 6.

30 [0098] La parte refractaria de lectura como se describe en las figuras 3-8 pueden tener un elemento DOE adicional para corregir aberración cromática o para mejorar además la distancia y rendimiento de lectura de la MSIOL. Esto se representa en las figuras 12-16. La parte DOE 20 puede trazarse por rayos para controlar la cantidad de aberración esférica y además para reducir el halo y el deslumbramiento. La zona de lente 3 también tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 5,5 a 7 mm. En una forma de realización, es aproximadamente 5,8-6,2 mm. La parte central 6 tiene una potencia óptica al menos igual a la potencia óptica de línea base de la parte de lente restante 4. De manera deseable, la potencia óptica del sector de círculo interno 7 está entre 0% y 100% de la potencia añadida. El sector de círculo semimeridiano introducido usado como la base refractaria para la DOE 20 tiene una potencia óptica 10% y 100% de la potencia añadida. La parte rebajada tiene una anchura (desde el final de la zona central a la parte de mezcla 11) entre 1,5 y 2,3 mm. En una forma de realización, es entre 1,8 y 2,1 mm. La DOE 20 se puede configurar para la potencia de línea base y el potencial intermedio añadido.

40 [0099] En una forma de realización, zonas de transición o zonas de mezcla 10 que unen la parte rebajada de las formas de realización descritas en las figuras 3-16 pueden seguir una función de coseno o una función sigmoidea. En una forma de realización, las zonas de transición 10 siguen una función de transición optimizada descrita abajo. Las zonas de transición o de mezcla 13 e 13' pueden también seguir tal función.

45 **Ejemplos**

[0100] Varias configuraciones de lente basadas en las figuras 3-8 se presentan más adelante, para una LIO. Para varios diámetros de pupila, el área cubierta en mm² por los varios sectores (zonas o regiones) se muestran. En varios gráficos, la energía de la luz relativa teóricamente determinada basada en el área cubierta por los varios sectores se muestra. (Sector Radius Central se refiere al radio de la parte central). Este cálculo de ejemplo teórico se hizo como si la lente no tuviera radio de curvatura, es decir, una superficie plana. Este método se eligió para simplificar el cálculo debido a que la curvatura de la superficie de la lente cambiará con la potencia óptica. Las ecuaciones para el cálculo del área de la superficie de un área de transición usada en las formas de realización de debajo son de la siguiente manera.

$$A_{\text{Pupila}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{pupila}}^2$$

$$A_{Cerca} = \frac{\alpha_{cerca} \cdot \pi}{360 \cdot 4} (D_{pupila}^2 - D_{dist}^2)$$

$$A_{Dist} = \frac{\alpha_{lejos} \cdot \pi}{360 \cdot 4} (D_{pupila}^2 - D_{dist}^2) + \frac{\pi}{4} D_{dist}^2$$

$$A_{Transición} = \frac{\alpha_{trans} \cdot \pi}{360 \cdot 4} (D_{pupila}^2 - D_{dist}^2)$$

5 [0101] Se descubrió que estos valores pueden determinarse también usando mediciones. Para ese fin, un instrumento llamado PMTF se puede usar. Este instrumento está disponible de Lambda-X SA, Rue de l'industrie 37, 1400 Nivelles, Bélgica. En el procedimiento de medición, una LIO se coloca en un ojo modelo ISO. Un dibujo esquemático del principio de PMFT se muestra en la figura 36, mostrando una fuente de luz 380, un objetivo 381 para suministrar una área de luz espacialmente definida, una lente colimadora 382, una abertura 383, un conjunto de lentes L1 y L2, un modelo de ojo
10 ISO 384 que mantiene la LIO en una cubeta, un microscopio 385 en una tabla de traducción 386 y una cámara CCD 387 montada sobre dicho microscopio 385. En las mediciones usadas más adelante, el modelo de ojo tiene una abertura de 4 mm de diámetro para la simulación de la pupila.

[0102] El procedimiento de medida y manipulación de datos fueron como sigue. EL orden de mediciones de las LIO puede invertirse. En las mediciones, una LIO con solo una zona óptica se mide, y la misma LIO pero con una zona óptica según la invención se mide usando el mismo procedimiento.

15 [0103] Las mediciones se realizan según el uso normal del PMFT. En este caso, primero una LIO de referencia sin parte rebajada se midió. En el plano focal la luz dentro de una imagen de la abertura se midió integrando la intensidad calibrada en el sensor CCD. Después, una LIO con parte rebajada se midió. Para ese fin, primero los planos focales diferentes de la LIO y el plano focal de la LIO de referencia se localizaron. La intensidad se midió en los planos focales de las LIO. Así, en caso de una LIO con una región de distancia (la parte de lente principal) y una región de cerca en la
20 parte rebajada, la luz en lo dos planos focales se midió. De las mediciones de luz en la cámara CCD, la luz en los planos focales se añadió y en comparación con la luz en el plano focal de la LIO de referencia. Los valores medidos para pérdida de luz correspondieron muy bien con pérdida de luz teóricamente calculada.

Forma de realización 1, figura 24

[0104]

| | | | |
|----|----------------------------------|------|-----------------------------------|
| 25 | Distancia de ángulo de sector | 182 | |
| | Ángulo de sector de cerca | 170 | |
| | Transiciones de ángulo de sector | 8 | cada hueco 4 grados de transición |
| | Radio de sector central | 0,57 | |

ES 2 379 529 T3

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Diámetro de la pupila | 4,00 | 4,00 | 3,50 | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 2,50 | 2,50 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 1,14 | 1,14 |
| Área de la pupila | 12,57 | | 9,62 | | 7,07 | | 4,91 | | 3,14 | | 1,77 | | 1,02 | |
| Área sector de cerca | 5,45 | 43% | 4,06 | 42% | 2,86 | 40% | 1,84 | 37% | 1,00 | 32% | 0,35 | 20% | 0,00 | 0% |
| Área sector de distancia | 6,86 | 55% | 5,37 | 56% | 4,08 | 58% | 2,99 | 61% | 2,09 | 67% | 1,40 | 79% | 1,02 | 100% |
| Área de transición | 0,26 | 2,0% | 0,19 | 2,0% | 0,13 | 1,9% | 0,9 | 1,8% | 0,05 | 1,5% | 0,02 | 0,9% | 0,00 | 0% |

Forma de realización 2, Figura 25

[0105]

- 5 Distancia de ángulo de sector 170
 Ángulo de sector de cerca 160
 Transiciones de ángulo de sector 30 cada hueco 15 grados de transición
 Radio de sector central 0,57

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Diámetro de la pupila | 4,00 | 4,00 | 3,50 | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 2,50 | 2,50 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 1,14 | 1,14 |
| Área de la pupila | 12,57 | | 9,62 | | 7,07 | | 4,91 | | 3,14 | | 1,77 | | 1,02 | |
| Área sector de cerca sector | 5,13 | 41% | 3,82 | 40% | 2,69 | 38% | 1,73 | 35% | 0,94 | 30% | 0,33 | 19% | 0,00 | 0% |
| Área sector de distancia | 6,47 | 52% | 5,08 | 53% | 3,88 | 55% | 2,86 | 58% | 2,02 | 64% | 1,37 | 78% | 1,02 | 100% |
| Área de transición | 0,96 | 7,7% | 0,72 | 7,4% | 0,50 | 7,1% | 0,32 | 6,6% | 0,18 | 5,6% | 0,06 | 3,5% | 0,00 | 0% |

10

[0106] La LIO también estuvo disponible sin parte rebajada. Esta LIO se usó como lente de referencia. Tiene una dioptría de +20 para la parte de lente principal. La lente de la invención fue además idéntica, excepto que esta tuvo una parte rebajada con una dioptría relativa de +3 con respecto a la parte de la lente principal. La procedimiento de medición de arriba usando el PMTF se usó. En la tabla, resultados usando una fuente espacialmente "grande" circular de 600 mu de diámetro y una fuente "pequeña" de 200 mu diámetro se muestran.

15

ES 2 379 529 T3

| Fuente | Pequeña | Grande | Pequeña | Grande | Pequeña | Grande |
|-----------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Diámetro de la pupila | 4,5 | 4,5 | 3,75 | 3,75 | 3,00 | 3,00 |
| Luz en foco lejos | 54% | 58% | 54% | 54% | 54% | 54% |
| Luz en foco cerca | 40% | 34% | 38% | 38% | 38% | 41% |
| Área de transición | 6% | 7% | 8% | 8% | 8% | 6% |

[0107] Los resultados medidos y calculados resultaron así ser comparables.

5 Forma de realización 3, figura 26

[0108]

Distancia de ángulo de sector 182

Ángulo de sector de cerca 170

Transiciones de ángulo de sector 8 cada hueco 4 grados de transición

10 Radio de sector central 0,25

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Diámetro de la pupila | 4,00 | 4,00 | 3,50 | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 2,50 | 2,50 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 0,50 | 0,50 |
| Área de la pupila | 12,57 | | 9,62 | | 7,07 | | 4,91 | | 3,14 | | 1,77 | | 0,20 | |
| Área sector de cerca | 5,84 | 46% | 4,45 | 46% | 3,25 | 46% | 2,23 | 45% | 1,39 | 44% | 0,74 | 42% | 0,00 | 0% |
| Area sector de distancia | 6,45 | 51% | 4,96 | 52% | 3,67 | 52% | 2,58 | 53% | 1,69 | 54% | 0,99 | 56% | 0,20 | 100% |
| Área de transición | 0,27 | 2,2% | 0,21 | 2,2% | 0,15 | 2,2% | 0,10 | 2,1% | 0,07 | 2,1% | 0,03 | 2,0% | 0,00 | 0% |

Forma de realización 4, figura 23

15 [0109]

Distancia de ángulo de sector 145

Ángulo de sector de cerca 145

Transiciones de ángulo de sector 70 cada hueco 35 grados de transición

Radio de sector central 1

20

ES 2 379 529 T3

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| Diámetro de pupila | 4,00 | 4,00 | 3,50 | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 2,50 | 2,50 | 2,00 | 2,00 |
| Pupila de área | 12,57 | | 9,62 | | 7,07 | | 4,91 | | 3,14 | |
| Área de sector de cerca | 3,80 | 30% | 2,61 | 27% | 1,58 | 22% | 0,71 | 15% | 0,00 | 0% |
| Área de sector de distancia | 6,94 | 55% | 5,75 | 60% | 4,72 | 67% | 3,85 | 79% | 3,14 | 100% |
| Área de transición | 1,83 | 14,6% | 1,26 | 13,1% | 0,76 | 10,8% | 0,34 | 7,0% | 0,00 | 0,0% |

Forma de realización 5, figura 22

- 5 [0110]
- Distancia de ángulo de sector 145
- Ángulo de sector de cerca 145
- Transiciones de ángulo de sector 70 cada hueco 35 grados de transición
- Radio de sector central 0,00

10

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|------|
| Diámetro de la pupila | 4,00 | 4,00 | 3,50 | 3,50 | 3,00 | 3,00 | 2,50 | 2,50 | 2,00 | 2,00 | 1,50 | 1,50 | 0,00 | 0,00 |
| Área de la pupila | 12,57 | | 9,62 | | 7,07 | | 4,91 | | 3,14 | | 1,77 | | 0,00 | |
| Área sector de cerca | 5,06 | 40% | 3,88 | 40% | 2,85 | 40% | 1,98 | 40% | 1,27 | 40% | 0,71 | 40% | 0,00 | 0% |
| Área sector de distancia | 5,06 | 40% | 3,88 | 40% | 2,85 | 40% | 1,98 | 40% | 1,27 | 40% | 0,71 | 40% | 0,00 | 100% |
| Área de transición | 2,44 | 19,4 % | 1,87 | 19,4 % | 1,37 | 19,4 % | 0,95 | 19,4 % | 0,61 | 19,4 % | 0,34 | 19,4 % | 0,00 | 0% |

15

[0111] Para la forma de realización 2, mediciones se hicieron en un banco de óptica Optocraft según ISO 11979-2. En las figuras 27-29 mediciones se muestran de dispositivos con una parte de la lente principal con una potencia óptica de +22 (Figura 27), +29 (Figura 28) y +15 (Figura 29). La parte rebajada tiene una parte de visión de cerca con una potencia óptica relativa (con respecto a la parte esencial) de +3,0. Todos los ejemplos se refieren a una LIO con potencia óptica variable de la parte principal. En la figura 27, el medio derecho de debajo se rebaja. En la figura 28, la parte rebajada está en la parte izquierda superior, en la figura 29, el hueco está en el lado izquierdo. La escala es Wavefront/lambda = 0,54 micra. En la figura 27 la escala total es de -10,6 a 4,6, en la figura 28 la escala es aproximadamente -6,8 a 8,8, en la figura 29 la escala es -12,4 a 6,3. La escala de color usual se convirtió a escala de grises.

20

25

[0112] Cuando la fabricación de una MSIOL del tipo descrito en este documento por rotación, la herramienta de eliminación material se mueve normalmente paralela al eje rotacional hacia fuera y hacia la pieza de trabajo en una manera sincronizada con el ángulo de rotación. De esta manera un sector de lectura semimeridiano 7, 8', 20 puede crearse introducido o rebajado en la parte de la lente principal 4. Cuando la transición 10 se hace de parte desde la lente principal 4 en la parte rebajada 7, 8 la herramienta y la pieza de trabajo o lente deben moverse la una hacia la otra. Cuando la transición 10 se hace fuera de la parte rebajada 7, 8 de la parte de la lente principal 4, la herramienta y la lente deben alejarse entre sí. Cuando se fabrica de esta manera, una zona de transición 10, 13, 13' separa la parte(s)

rebajada de la parte de lente principal 4. Debe aclararse que las dimensiones de esta zona de transición deberían ser tan pequeñas como sea posible. Se descubrió que los mejores resultados se proveen si las zonas de transición son tan pequeñas o estrechas y así tan inclinado como sea posible.

5 [0113] Para hacer la zona de transición más pequeña, la herramienta de corte y la lente deberían moverse la una hacia la otra y tan lejos la una de la otra tan rápido como sea posible. Frecuentemente, la herramienta se moverá con respecto a la lente. Desplazamiento rápido implica que la herramienta debería moverse con la aceleración más rápido permitida por el fabricante de la herramienta de corte o capaz por la herramienta de corte. El método de la presente invención calcula el perfil de transición óptimo para mover la herramienta de corte de la posición en reposo 1 a la posición 2 en reposo. La posición 1 corresponde a la posición de z de la herramienta de corte cuando tratamiento de la parte de
10 distancia, y la posición 2 corresponde a la posición de la herramienta de corte cuando tratamiento de la parte de lectura o viceversa.

[0114] Si el movimiento de la herramienta de corte se limita por una aceleración máxima especificada, luego la transición más rápida entre dos posiciones se realiza mediante la realización del desplazamiento de la herramienta rápida con esta aceleración máxima durante toda la transición. De la mecánica simple se deduce que el desplazamiento
15 s después de la aplicación de la aceleración máxima a_{max} durante un tiempo t_1 es:

$$s = \frac{1}{2} a_{max} t_1^2$$

[0115] La herramienta de corte ahora tendrá una velocidad de:

$$v = a_{max} t_1$$

20 [0116] Para llevar la herramienta rápida de nuevo a reposo $v = 0$ aplicamos otra vez la aceleración máxima en el sistema de herramienta rápida, pero ahora en dirección opuesta. De la mecánica simple se deduce que el tiempo necesitado para parar la herramienta rápida t_2 es igual al tiempo que se necesitó para acelerar la herramienta rápida.

$$t_2 = t_1$$

25 [0117] Cuando el tiempo de transición es la Δt mitad del tiempo de transición se necesita para acelerar la herramienta rápida y la mitad del tiempo de transición se necesita para llevar la herramienta rápida de nuevo a reposo. Desde esto el perfil optimizado que utiliza la aceleración máxima permitida para la herramienta se da por:

$$s(t) = \frac{1}{2} a_{max} t^2 \quad \text{Para } 0 \leq t < \frac{\Delta t}{2}$$

$$s(t) = \frac{1}{2} a_{max} \left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2 + a_{max} \frac{\Delta t}{2} \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right) - \frac{1}{2} a_{max} \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)^2 \quad \text{Para } \frac{\Delta t}{2} \leq t \leq \Delta t$$

[0118] Donde Δt es el tiempo de transición.

[0119] El desplazamiento máximo y total Δs cuando limitado a la aceleración máxima a_{max} de la herramienta rápida es:

$$\Delta s = a_{max} \left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2$$

30

[0120] El tiempo mínimo necesitado para hacer un desplazamiento Δs es:

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{max}}}$$

[0121] Este tiempo es el tiempo mínimo teórico para hacer un desplazamiento Δs , con la herramienta de corte que se limita a una aceleración máxima. Todos los otros perfiles de transición sometidos a la misma limitación con respecto a la aceleración máxima requieren un tiempo mayor para hacer el mismo desplazamiento Δs .

5 [0122] Un hecho importante es que en la práctica para conseguir una superficie fabricada por rotación de buena calidad la velocidad de giro se limita a un número mínimo de revoluciones por minuto. Si la velocidad de giro se limita a un mínimo, un tiempo de transición menor supondrá una zona de transición más pequeña. El tamaño angular ϕ en grados de la zona de transición en este caso puede calcularse por:

$$\phi = N \cdot 360 \cdot \Delta t$$

$$\phi = N \cdot 360 \cdot 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}}$$

10 con N la velocidad de giro en revoluciones por segundo.

[0123] Generalmente la diferencia de altura entre la parte de lectura y la parte de distancia se reduce cuando se mueve de la periferia hacia el centro de la zona óptica. Esto implica que el tamaño angular de la zona de transición puede hacerse más pequeño cuando se acerca al centro. De esta manera, el área eficaz de las zonas ópticas se maximiza. Otra ventaja importante es que la transición se hace tan inclinada como sea posible de esta manera. Un transición inclinada puede ser ventajosa, reflexiones en la zona de transición están de tal manera que estas son menores o no se perciben como perturbación por el paciente. De este se puede concluir que con el perfil de transición optimizado un desplazamiento mayor se puede conseguir para el mismo tamaño del perfil de transición. O, de otra manera, cuando determinada cantidad de desplazamiento se necesita para cambiar parte de distancia a parte de lectura, el perfil de transición optimizado puede alcanzarse en una manera más rápida dando como resultado una zona de transición más pequeña.

Otra aplicación para el perfil de transición descrito optimizado es este. Para hacer un desplazamiento Δs en un tiempo Δt de la manera más controlada y precisa puede ser ventajoso para hacer la transición con la aceleración mínima. La aceleración mínima necesitada para conseguir un desplazamiento Δs en un tiempo Δt puede calcularse con:

$$a_{\min} = \frac{4\Delta s}{\Delta t^2}$$

25 [0124] El perfil de transición se da otra vez por:

$$s(t) = \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{Para } 0 \leq t < \frac{\Delta t}{2}$$

$$s(t) = \frac{1}{2} a \left(\frac{\Delta t}{2}\right)^2 + a \frac{\Delta t}{2} \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right) - \frac{1}{2} a \left(t - \frac{\Delta t}{2}\right)^2 \quad \text{Para } \frac{\Delta t}{2} \leq t \leq \Delta t$$

30 [0125] Donde Δs es el tiempo de transición y a es la aceleración máxima o una aceleración especificada para la transición más controlada. La transición descrita anteriormente comienza con una inclinación horizontal y extremos con una inclinación horizontal. Para el caso en el que ambas zona de parte de cerca y de lectura son superficies rotacionales simétricas ambas zonas tienen inclinaciones horizontales en dirección tangencial o de la herramienta. En este caso las zonas se pueden conectar por el perfil de transición en una manera suave sin discontinuidad en el primer derivado.

35 [0126] En el caso de que una o ambas zonas tenga o tengan, por ejemplo, superficies simétricas no racionales, como una superficie tórica o una superficie esférica descentrada, la inclinación generalmente no será horizontal en la dirección de la herramienta. Para hacer una transición suave en el caso de que una de las zonas no tenga una pendiente horizontal o cero en dirección tangencial, la transición puede hacerse eliminando alguna parte del principio o el final del perfil de transición de manera que ambas zonas y zona de transición se hacen tangentes en su punto de conexión. Ver figura 17. Tampoco es difícil hacer el mismo análisis como arriba en una manera más general. Esto es la suposición de que la herramienta está en reposo en la posición 1 y en la posición 2 se descarta. En cambio, a la herramienta se le permite que empiece a una velocidad específica v_1 antes de la transición y que permanezca a una velocidad v_2

después de la transición. Lo último produce un perfil de transición que hace opcional no iniciar o finalizar con una inclinación horizontal.

[0127] Por supuesto si uno elige esto es también posible iniciar la transición sin estar tangente a una o ambas zonas ópticas.

5 **Ejemplo 1**

[0128] Aceleración máxima para la herramienta de corte:

$$a_{\max} = 10 \text{ m/sec}^2$$

[0129] Velocidad de giro 1200 rev/min (20 rev/sec) con un ángulo de transición de 20 grados.

$$\Delta t = \frac{1}{20} \frac{20}{360} = 2.78 \cdot 10^{-3} \text{ sec} \qquad \frac{\Delta t}{2} = 1.39 \cdot 10^{-3} \text{ sec}$$

10

Para $0 \leq t < 1.39 \cdot 10^{-3}$: $s(t) = 5t^2$

Para $1.39 \cdot 10^{-3} \leq t < 2.78 \cdot 10^{-3}$:

$$s(t) = 9.66 \cdot 10^{-6} + 1.3.9 \cdot 10^{-3} (t - 1.39 \cdot 10^{-3}) - 5(t - 1.39 \cdot 10^{-3})^2$$

Ejemplo 2

[0130]

15

Velocidad de giro $N=15$ rev/sec. $\Delta s = 0.05$ mm , $a_{\max} = 10 \text{ m/sec}^2$

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}} = 0.0045 \text{ sec}$$

$$\phi = N \cdot 360 \cdot 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}} = 15 * 360 * 0.0045 = 24 \text{ grados}$$

[0131] Es también posible hacer la transición usando otros perfiles menos óptimos. Por ejemplo, un perfil de transición descrito por la *función de coseno* podría usarse.

20

$$s(t) = A \cdot \cos(\omega t)$$

[0132] Con A la amplitud y ω la frecuencia angular. La transición comienza en $\omega = 0$ y termina en $\omega = \pi$. La aceleración experimentada cuando se sigue este perfil de coseno es:

$$a = -A \cdot \omega^2 \cos(\omega t)$$

25

[0133] La aceleración máxima en el perfil de coseno ocurrirá en $\omega = 0$ y en $\omega = \pi$ en la dirección opuesta. La magnitud absoluta de la aceleración es por lo tanto:

$$a_{\cos_max} = A \cdot \omega^2$$

[0134] Debido a que la aceleración máxima disponible o permitida para la máquina de rotación solo se usa durante una trayectoria muy pequeña en el perfil de transición, el desplazamiento conseguido para la herramienta rápida es sustancialmente menor que el perfil de transición óptimo descrito en este documento.

5 [0135] Para fines de comparación, una transición de coseno se calcula con el mismo tiempo de transición y aceleración máxima como se usa en el ejemplo de arriba con el perfil de transición optimizado (Figura 17).

[0136] La frecuencia angular ω puede calcularse del tiempo de transición:

$$\omega = \frac{\pi}{\Delta t}$$

[0137] La amplitud máxima posible con aceleración máxima $a_{max} = 10m/sec^2$ es

$$A = \frac{a_{max}}{\left(\frac{\pi}{\Delta t}\right)^2}$$

10

$$s(t) = A \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{\Delta t} t\right)\right)$$

[0138] Otra función que se utiliza para definir tal transición es la función sigmoidea como se describe en las WO9716760 y US6871953. La función sigmoidea se define como (Figura 18):

$$y(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

15 [0139] Si $y(t)$ es el desplazamiento como una función de tiempo t , luego la aceleración en el perfil sigmoideo (Figura 19) se da por:

$$a = \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

$$a = \frac{2e^{-2t}}{(e^{-t} + 1)^3} - \frac{e^{-t}}{(e^{-t} + 1)^2}$$

20 [0140] Muestra que la aceleración en el perfil no es uniforme. La aceleración máxima posible no se utiliza durante toda la transición. La velocidad de la transición se restringe por los extremos en el perfil de aceleración, ver figura 19.

[0141] La función sigmoidea se puede escalar y traducir al modelo de la transición requerida. De la misma manera como se muestra con la transición de coseno, esto puede mostrar fácilmente que una transición que se describe por una función sigmoidea es menos óptima. Cuando limitada a una aceleración máxima durante la transición:

- el desplazamiento máximo en un intervalo de tiempo fijo es menor

25 [0142] El tiempo necesitado para un desplazamiento de herramienta requerido es mayor dando como resultado una zona de transición mas amplia.

[0143] Parte de lejos con radio R_d :

$$Rd := 10.0$$

$$zd(r) := Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2}$$

[0144] Parte de lectura con radio Rr

5

$$Rr := 8.5$$

$$zr(r) := Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2}$$

[0145] Diferencia sagital o diferencia de altura cuando se mueve desde la parte de lectura a la parte de lejos, ver figura 30:

10

$$\text{sagdiff}(r) := zr(r) - zd(r)$$

[0146] Distancia radial s disponible para tomar el paso de altura cuando la transición se realiza entre dos meridianos que son un ángulo α aparte a una distancia r del centro óptico:

$$s(r) := 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360}$$

[0147] Perfil de transición en la primera mitad

15

$$z := \frac{1}{2} \cdot a \cdot x^2$$

[0148] Debería ser igual al medio del paso de altura

$$\frac{\text{sagdiff}(r)}{2} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \left(\frac{s(x)}{2} \right)^2$$

$$a := \frac{\text{sagdiff}(r)}{\left(\frac{s(x)}{2} \right)^2} \qquad a := \frac{4 \cdot \text{sagdiff}(r)}{s(x)^2}$$

$$a := 4 \frac{\left[Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2} - \left(Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2} \right) \right]}{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)^2}$$

20 [0149] Inclinación media del perfil de transición:

$$\text{inclinación} := \left[\frac{d}{d} \frac{1}{x} \left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot x \right)^2 \right]$$

$$\text{inclinación} := a \cdot x$$

$$\text{inclinación} := a \cdot \frac{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)}{2}$$

$$\text{inclinación}(r) := 4 \cdot \frac{\left[Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2} - \left(Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2} \right) \right]}{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)^2} \cdot \frac{\left(2 \cdot \pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)}{2}$$

$$\text{inclinación}(r) := \frac{\left[Rr - \sqrt{Rr^2 - r^2} - \left(Rd - \sqrt{Rd^2 - r^2} \right) \right]}{\left(\pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360} \right)}$$

5

[0150] Ver figura 31, mostrando un gráfico de la inclinación o primer derivado del parte más inclinada de la parte de mezcla como una función de la distancia radial desde el centro óptico de la lente oftálmica, para una zona de mezcla entre dos líneas semimeridianas que incluyen un ángulo de 15 grados, y figura 32, para una parte de mezcla incluida por dos semimeridianos que incluyen un ángulo de 4 grados.

10 Debajo, varios valores se muestran en una tabla

| Distancia | inclinación 15 grados | inclinación 4 grados |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| 0,4 | 0,027 | 0,101 |
| 0,8 | 0,054 | 0,203 |
| 1,2 | 0,082 | 0,307 |
| 1,6 | 0,11 | 0,414 |
| 2,0 | 0,14 | 0,524 |
| 2,4 | 0,171 | 0,64 |
| 2,8 | 0,203 | 0,761 |

[0151] La forma e inclinación (primer derivado) de la zona de mezcla se puede medir con exactitud alta, usando, por ejemplo, un analizador óptico 3D o Form talysurf, comercialmente disponible de Taylor Hobson, Reino Unido. La figura 35 muestra un mapa de superficie de una lente según la invención.

5 [0152] Se descubrió en ensayos clínicos que con un inclinación pendiente y elección atenta de la parte central, el contraste de la lente aumenta. En un último estudio europeo multicéntrico clínico realizado (Pardubice datos de estudio en el fichero), 25 sujetos con 49 ojos, 24 sujetos fueron implantados bilateralmente con la MSIOL inventiva. Estos sujetos representan una selección de muestra de la población de pacientes con catarata típicos europeos. La sensibilidad al contraste se midió bajo condiciones fotópicas con un instrumento de Vector Vision Inc CSV1000, Greenville, Ohio, EEUU US5078486. En este estudio los siguientes valores LogMar (Resolución angular media logarítmica), medidos con el CSV1000, donde se encontró para frecuencias espaciales 3, 6, 12 y 18 cpd:

| frecuencia espacial (cpd) | 3 meses | Desviación estándar |
|------------------------------|---------|------------------------|
| | 3 | 1.677+/-0,15 |
| | 6 | 2.073+/-0,17 |
| | 12 | 1.831+/-0,21 |
| | 18 | 1.437+/-0,19 |

10 [0153] Una comparación de sensibilidad al contraste se hizo con los dos líderes de mercado en LIOM. La AcriSof ReSTOR SN60D3 (Alcon) es una LIOM refractiva / difractiva y la ReZoom (Advanced Medical Optics) es una multifocal multizona refractiva con el objetivo de mejorar los resultados visuales.

15 [0154] En un estudio reciente titulado "Multifocal Apodized Diffractive IOL versus Multifocal Refractive IOL" publicado en *Journal Cataract Refract Surg* 2008; 34:2036-2042 Q 2008 ASCRS and ESCRS, sensibilidad al contraste se midió en 23 pacientes que tuvieron implantación bilateral de la LIO AcriSof ReSTOR SN60D3 y 23 pacientes que tuvieron implantación bilateral de la LIO ReZoom. El número de sujetos en nuestro estudio fue 24 y, por lo tanto, comparable directamente con los resultados de este estudio. Muestra una mejora de sensibilidad al contraste media de al menos 25% comparada con una lente refractiva concéntrica multifocal del estado de la técnica. La configuración de lente inventiva dará una sensibilidad al contraste media para ojos saludables (1.677) a 3 cpd, (2.07) a 6 cpd, (1.831) a 12 cpd y (1.437) a 18 cpd. En las figuras 33 y 34, los resultados se indican cuando se comparan con el rendimiento de una población media, para diferentes grupos de edad (*Pop. Norm http://www.vectorvision.com/html/educationCSV1000Norms.html*), el rendimiento del grupo de prueba antes de cirugía (pre-op), y el rendimiento con una LIOM se indicó como LS 312-MF. Estos resultados se encontraron consistentes a 6 meses post-operatorios, es decir, 6 meses después de la cirugía.

25 [0155] También será evidente que la descripción anterior y los dibujos se incluyen para ilustrar algunas formas de realización de la invención y no para limitar el alcance de protección.

Empezando desde esta descripción, muchas más formas de realización serán evidentes a un experto en la materia que están dentro del campo de protección y la esencia de esta invención y que son combinaciones obvias de técnicas de la técnica anterior y la descripción de esta patente.

REIVINDICACIONES

1. Lente intraocular (LIO) (1) comprendiendo una lente (3) con una parte de lente principal (4) teniendo una superficie, una parte rebajada (7, 8) teniendo una superficie que se rebaja respecto a dicha superficie de dicha parte de lente principal (4), un centro óptico, y un eje óptico (R) a través de dicho centro óptico, dicha parte de lente principal (4) teniendo al menos un límite con dicha parte rebajada, dicha parte de lente principal (4) teniendo una potencia óptica de entre aproximadamente -20 a aproximadamente +35 dioptrías, dicha parte rebajada (7, 8) situada a una distancia inferior a 2 mm de dicho centro óptico y comprendiendo una parte de cerca con una dioptría relativa de aproximadamente +1,0 a aproximadamente +5,0 con respecto a la potencia óptica de dicha parte de lente principal (4), dicho límite o límites de dicha parte de lente rebajada con dicha parte de lente principal forman una parte de mezcla o partes de mezcla (10, 11), dichas partes de mezcla comprendiendo al menos una parte de mezcla semimeridiana (10) formada para refractar luz lejos de dicho eje óptico cuando dicha LIO (1) se ilumina por medio de una lente colimadora y colocada en un ojo modelo ISO con un abertura de 4 mm de diámetro, dicha LIO (1) comprendiendo además una parte central (6) que tiene una potencia óptica relativa de aproximadamente -2,0 a +2,0 dioptrías respecto a dicha parte de lente principal (4), donde dicha parte central (6) encaja dentro de un círculo de circunscripción con un diámetro de aproximadamente 0,2-2,0 mm.
2. LIO según la reivindicación 1, donde cuando dicha LIO (1) se ilumina por medio de una lente colimadora y se coloca en un ojo de modelo ISO con una abertura de 4 mm de diámetro, dicha parte de mezcla o partes de mezcla (10, 11) tienen una curvatura dando como resultado una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, inferior a aproximadamente 15%, dicha pérdida de luz definida como la fracción de la cantidad de luz en foco de la LIO (1) comparada con la cantidad de luz en foco de una LIO idéntica en ausencia de dicha parte rebajada (7, 8).
3. LIO según la reivindicación 2, donde dicha pérdida de luz está por debajo de aproximadamente 10%.
4. LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dicha parte rebajada está delimitada a dos lados sustancialmente por semimeridianos que van desde dicho centro óptico, la parte rebajada tiene así forma de zona meridiana.
5. LIO según la reivindicación 4, donde dicha parte rebajada tiene un ángulo comprendido entre los lados de aproximadamente 175-195 grados.
6. LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dicha parte rebajada está delimitada por dos semimeridianos y una línea de latitud concéntrica y a una distancia desde dicha parte central.
7. LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dos partes de mezcla (10) están cada una dentro de semimeridianos que incluyen un ángulo (γ) inferior a 15 grados, en una forma de realización dichos semimeridianos incluyen un ángulo (γ) inferior a 5 grados.
8. LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la inclinación de dichas partes de mezcla tiene una curva con forma de S y tiene una pendiente con una inclinación o primer derivado a un intervalo central de la parte de mezcla a 1,6 mm de dicho centro óptico más de 0,1 en la parte más inclinada, en una forma de realización más de 0,4 en la parte más inclinada.
9. LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dichas partes de mezcla tienen una curva con forma de S y tienen una pendiente con una inclinación o primer derivado a un intervalo central de la parte de mezcla a 2,8 mm de dicho centro óptico más de 0,2 en la parte más inclinada, en una forma de realización más de 0,7 en la parte más inclinada.
10. LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde al menos una de dichas partes de mezcla, en particular, al menos una parte de mezcla semimeridiana, tiene o tienen una curva con forma de S, que sigue o siguen una primera curva parabólica que va desde la superficie de la parte de la lente principal hacia la superficie de la parte rebajada, teniendo una parte de curva intermedia conectando con dicha primera curva parabólica, y continuando con siguiendo una segunda curva parabólica terminando en la superficie rebajada.
11. LIO según la reivindicación 10, donde dicha parte de curva intermedia en la parte más inclinada tiene un primer derivado de al menos 0,05 a 0,4 mm desde dicho centro óptico, en una forma de realización al menos 0,1 a 0,8 mm, en una forma de realización al menos 0,15 a 1,2 mm, en una forma de realización al menos 0,2 a 1,6 mm, en una forma de realización al menos 0,3 a 2,0 mm, en una forma de realización al menos 0,4 a 2,4 mm, en una forma de realización al menos 0,5 a 2,8 mm.
12. LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, dicha parte de lente principal, parte central, parte rebajada y partes de mezcla se sitúan y se forman mutuamente para suministrar una característica LogCS bajo condiciones fotópicas de luz dentro de 6 meses postoperatorios en una frecuencia espacial (cpd) entre 3-18 que está al menos entre la norma de población de 11-19 años y 50-75 años, en una forma de realización en una frecuencia espacial (cpd) entre aproximadamente 6 y 18, su característica LogCS bajo condiciones fotópicas de luz dentro de 6 meses postoperatorios es sobre la norma de población de 20-55 años.

13. LIO *add on* para ser insertada en la bolsa, el surco, mientras incrustación en la córnea o una lente de cámara anterior, comprendiendo la LIO según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dicha parte de lente principal tiene una potencia óptica de aproximadamente -10 a +5 dioptrías.
- 5 14. Método para la optimización de la lente intraocular (LIO) según las reivindicaciones 1-12 para el ojo de un sujeto humano, donde en el diseño de dicha LIO, el diámetro de dicha parte central se adapta al diámetro de pupila de quien la lleva antes de inserción en el ojo, en una forma de realización el diámetro de dicha parte central es aproximadamente de 20-40 % del diámetro de pupila de quien la lleva en condiciones de iluminación de oficina, es decir, 200-400 lux.
- 10 15. Método para la producción para un sujeto de la lente intraocular (LIO) según las reivindicaciones 1-12, dicho método comprende los pasos de determinación del diámetro de pupila de dicho sujeto y producción de una LIO con el diámetro de dicha parte central adaptado al diámetro de pupila del sujeto, en una forma de realización el diámetro de dicha parte central es de aproximadamente 20-40 % del diámetro de pupila de quien la lleva en condiciones de iluminación de oficina, es decir, 200-400 lux.

Fig 1

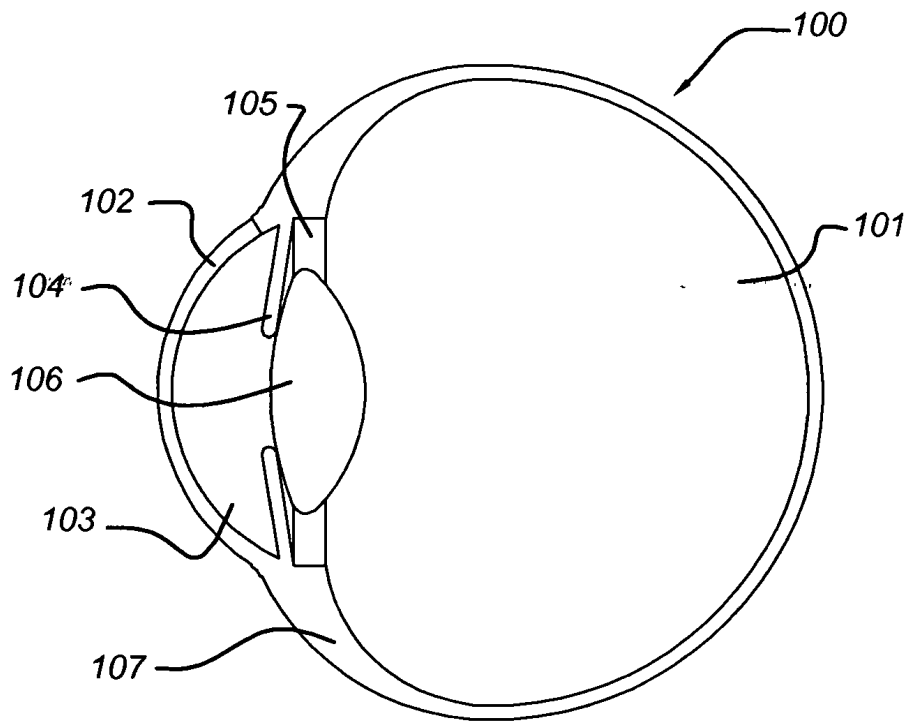


Fig 2

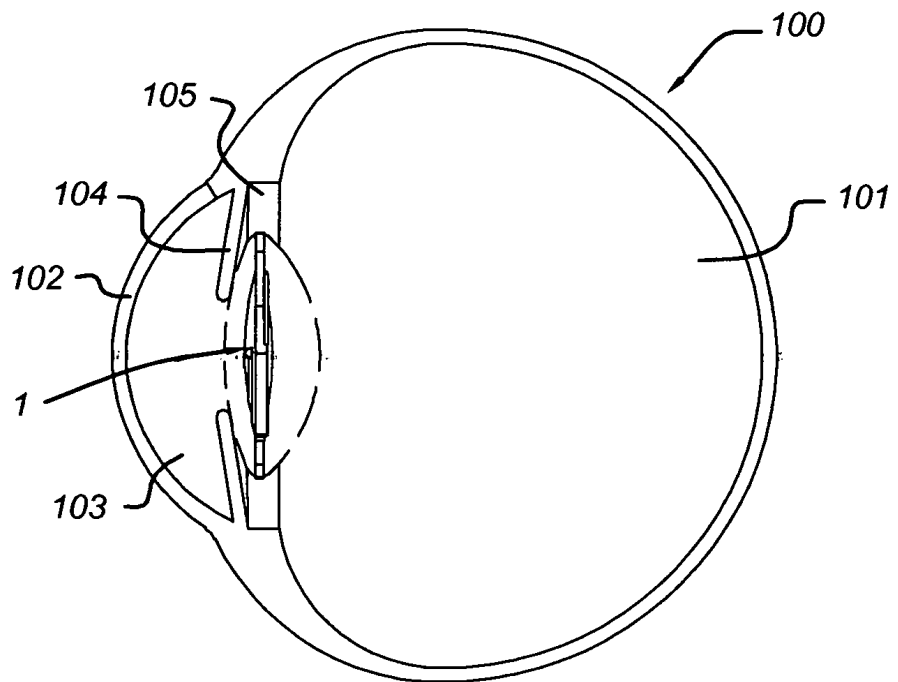


Fig 3

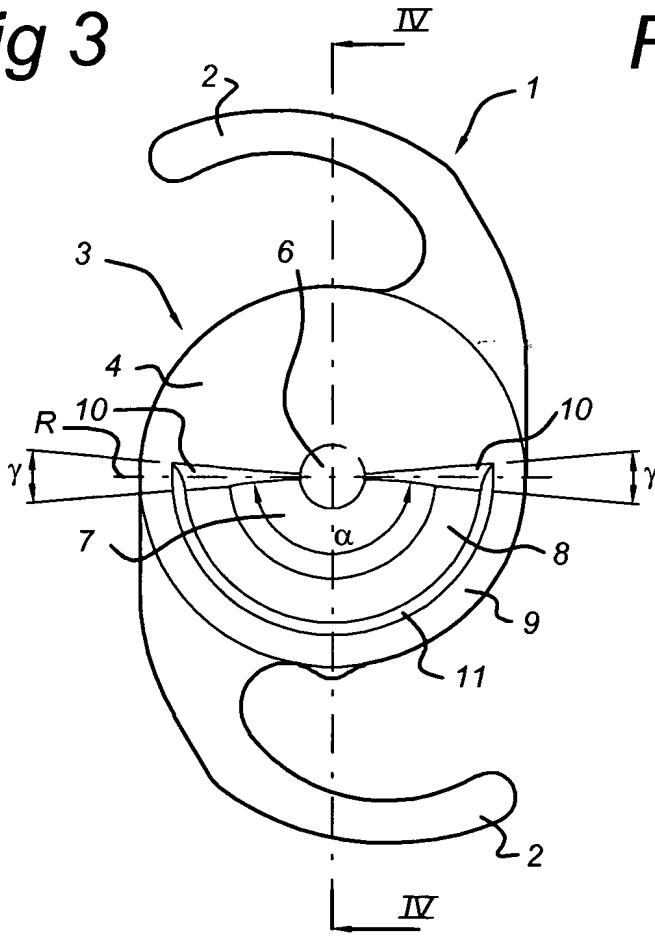


Fig 4

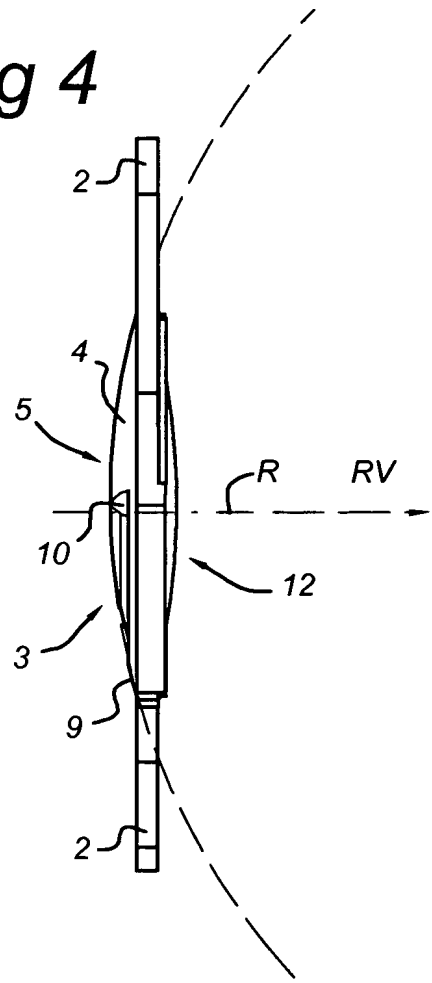


Fig 5

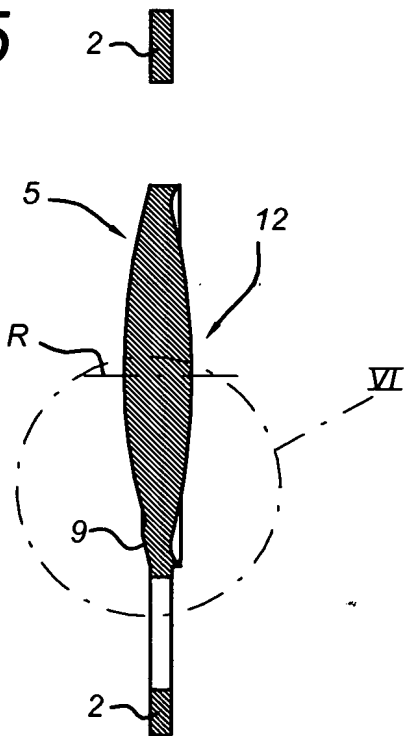


Fig 6

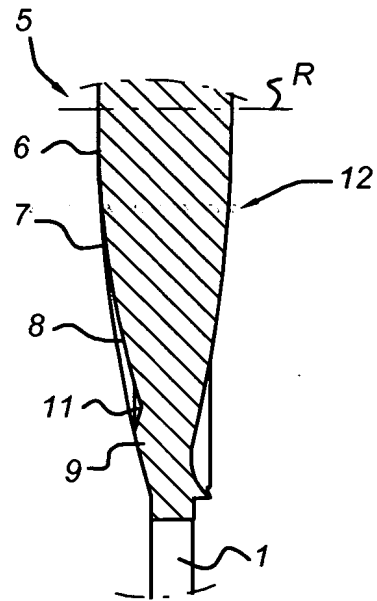


Fig 7

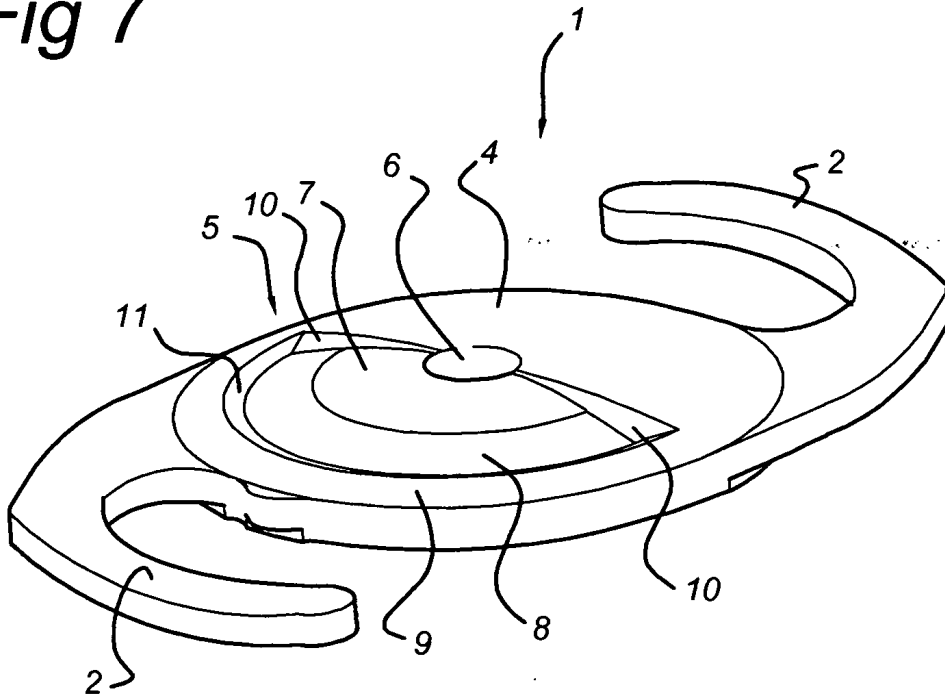


Fig 8

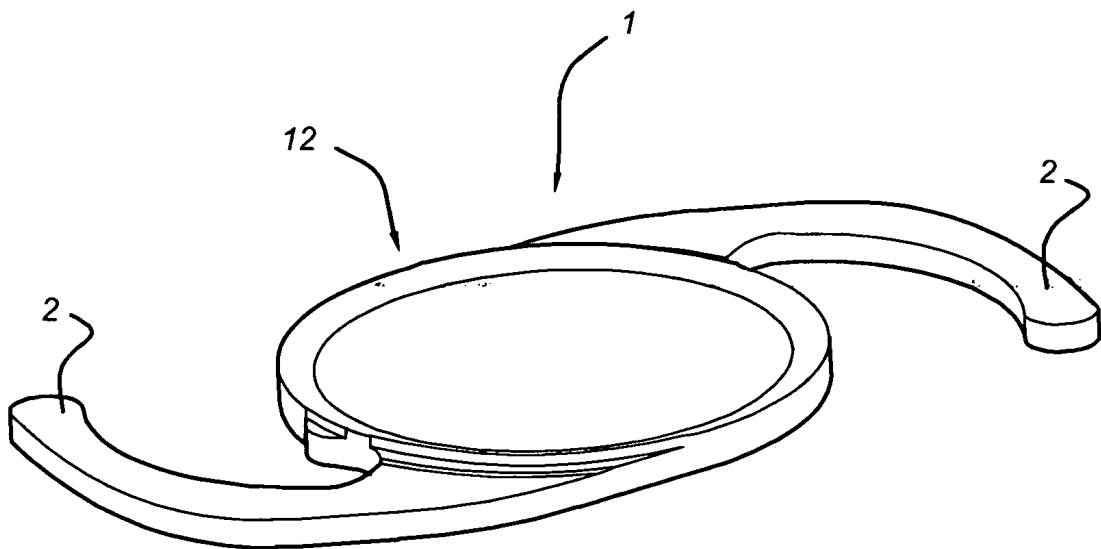


Fig 9

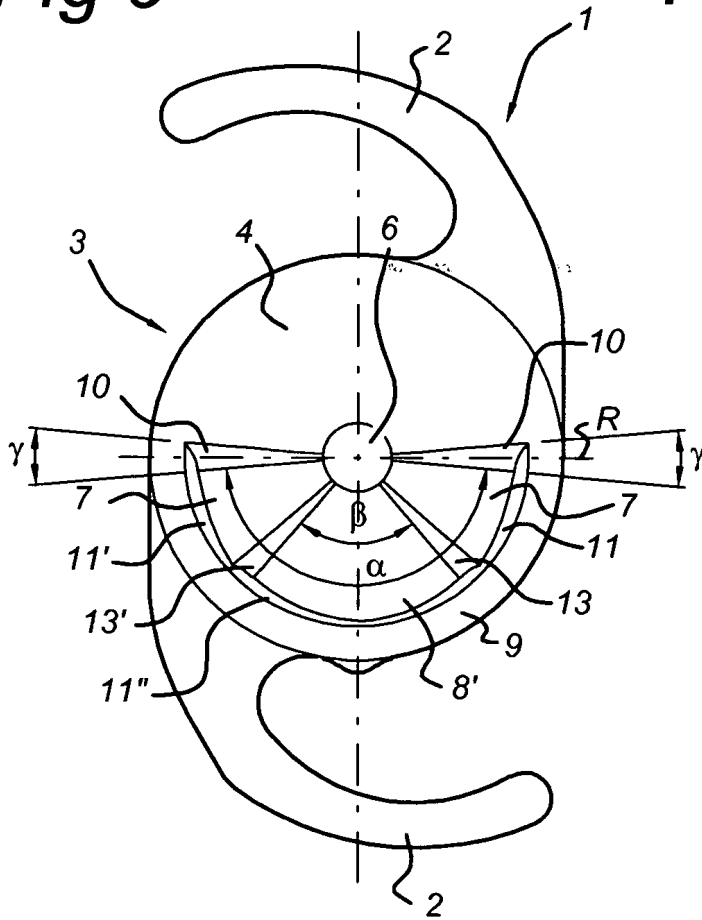


Fig 10

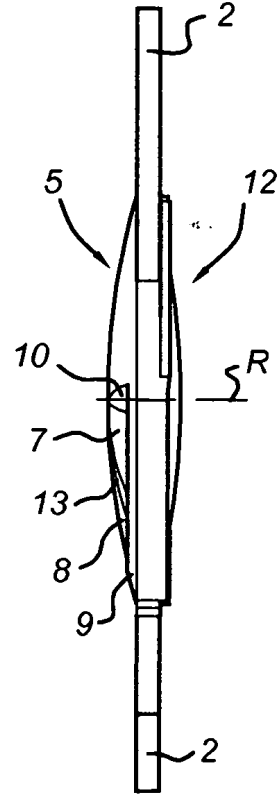


Fig 11

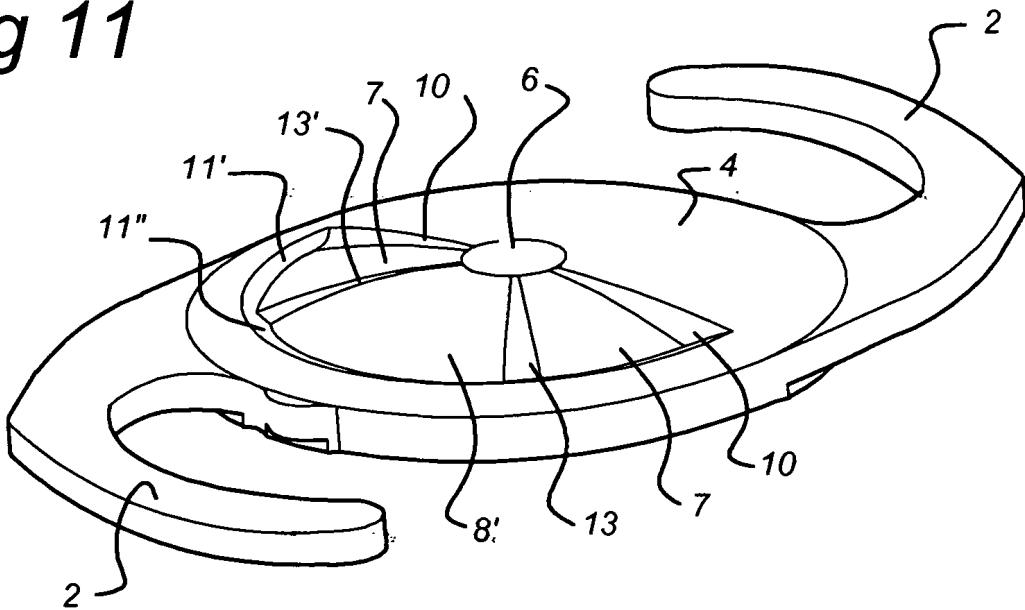


Fig 12

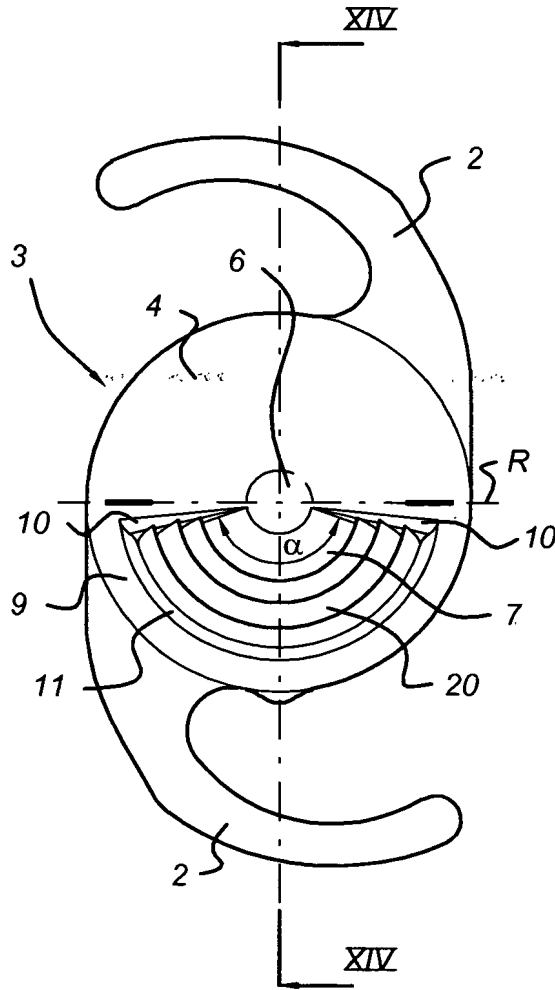


Fig 13

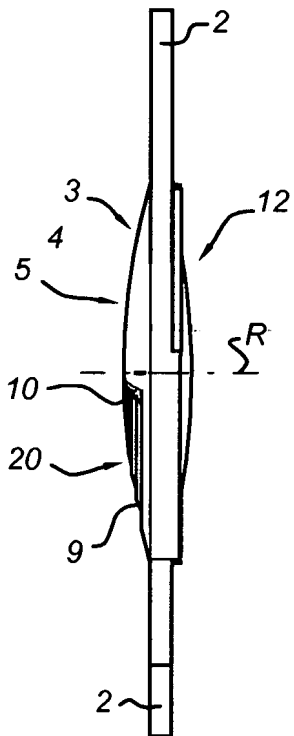


Fig 14

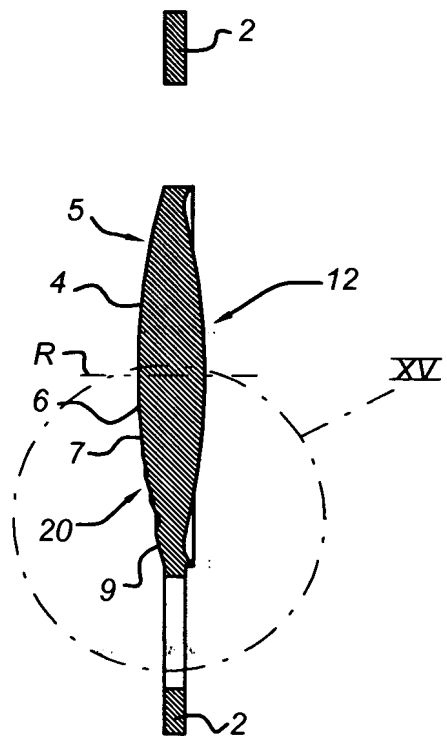


Fig 15

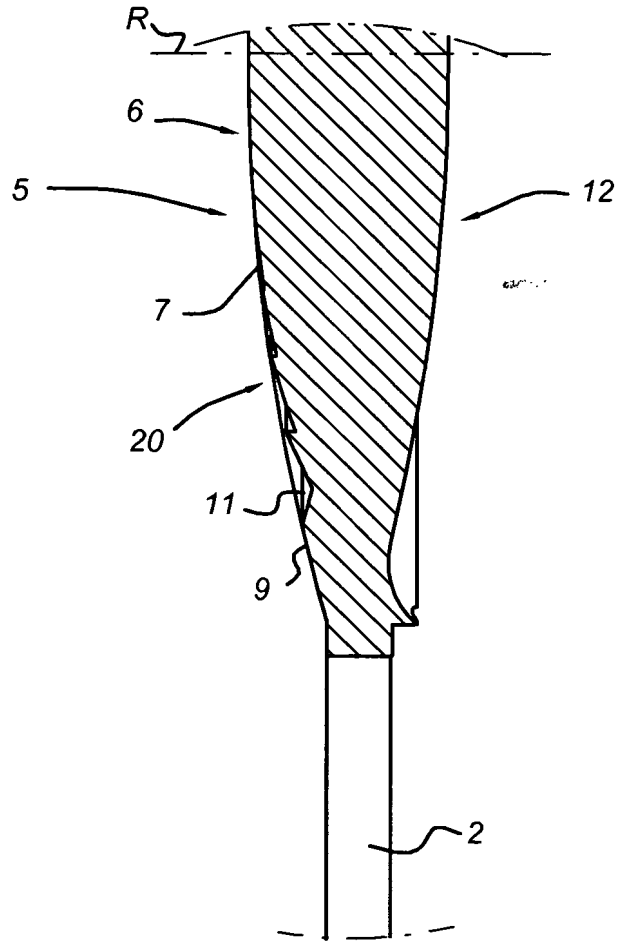


Fig 16

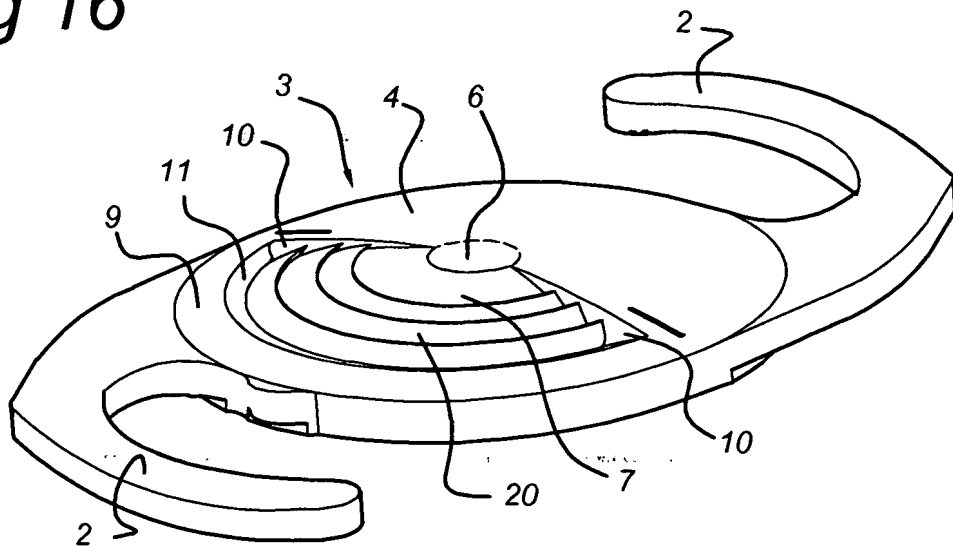


Fig 17

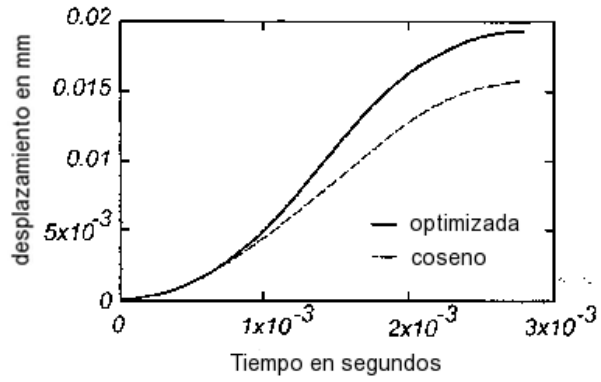


Fig 18

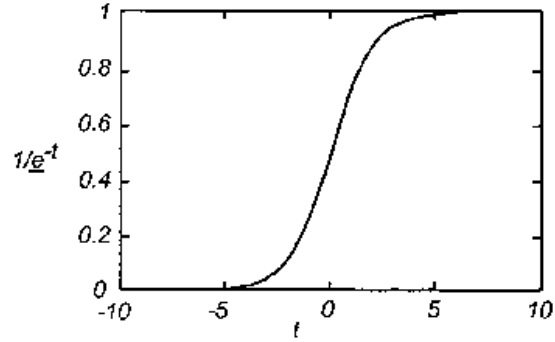


Fig 19

$$\frac{2e^{-2t}}{(e^{-t}+1)^3} - \frac{e^{-t}}{(e^{-t}+1)^2}$$

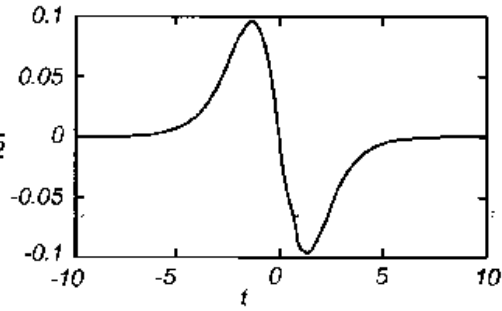


Fig 20

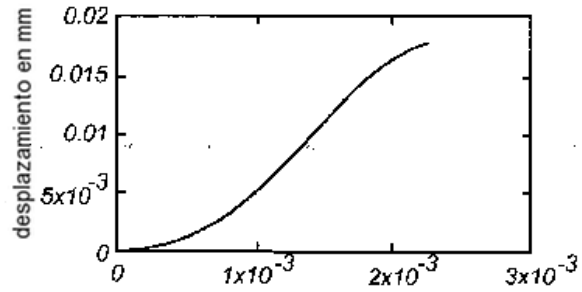


Fig 21

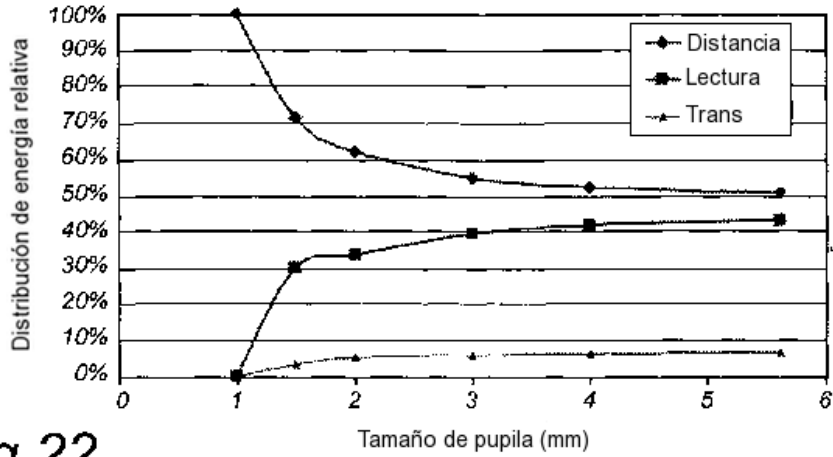


Fig 22

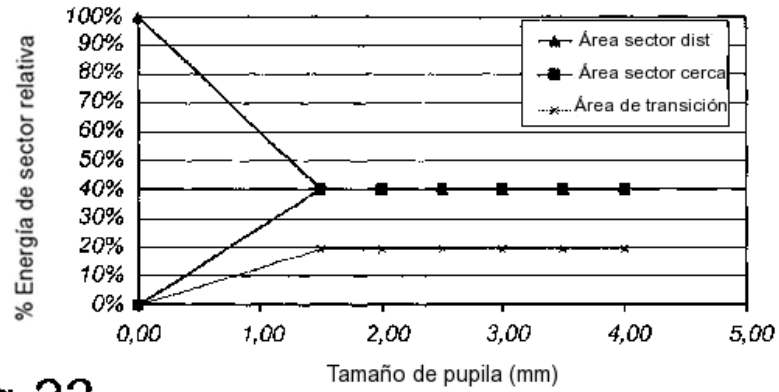


Fig 23

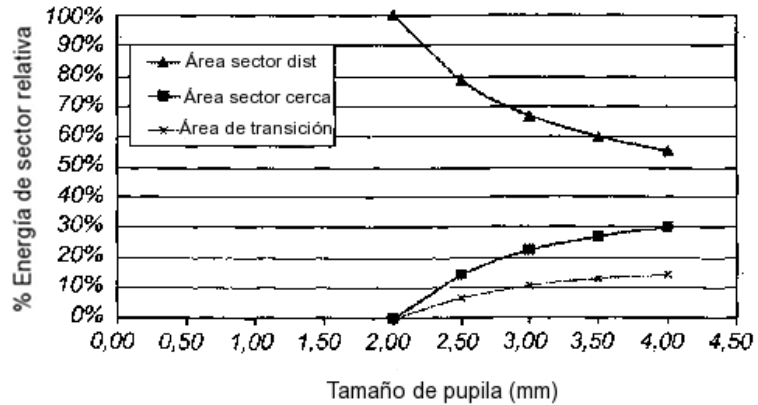


Fig 24

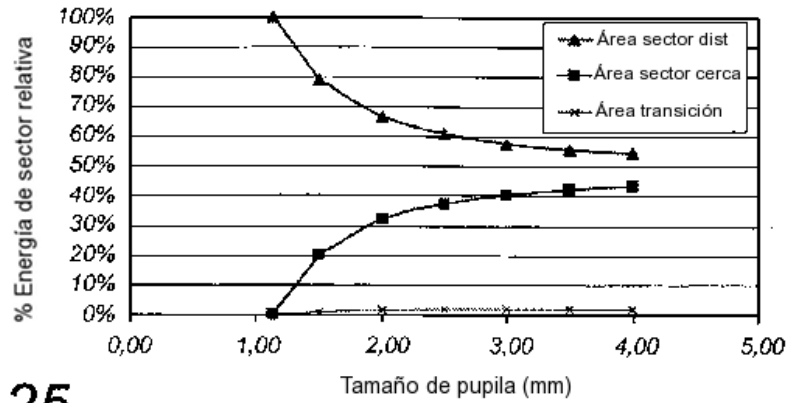


Fig 25

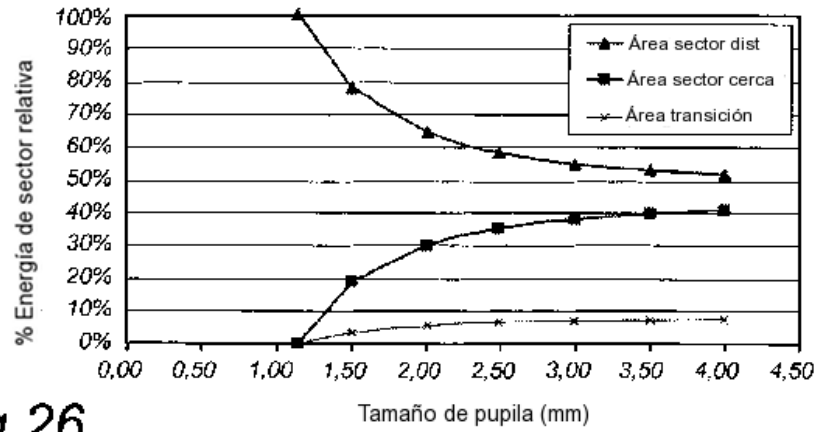


Fig 26

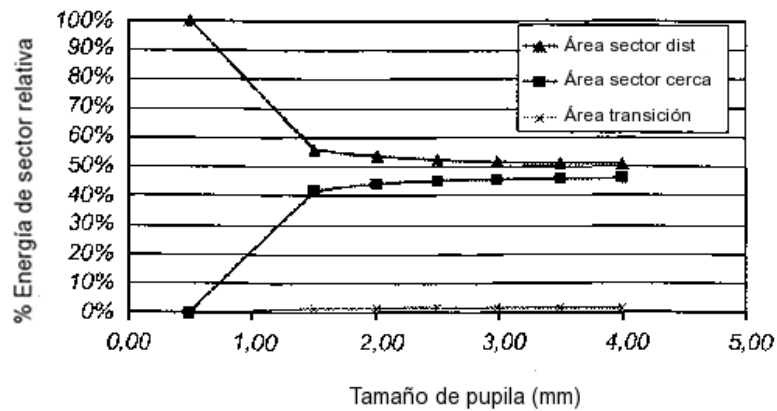


Fig 27

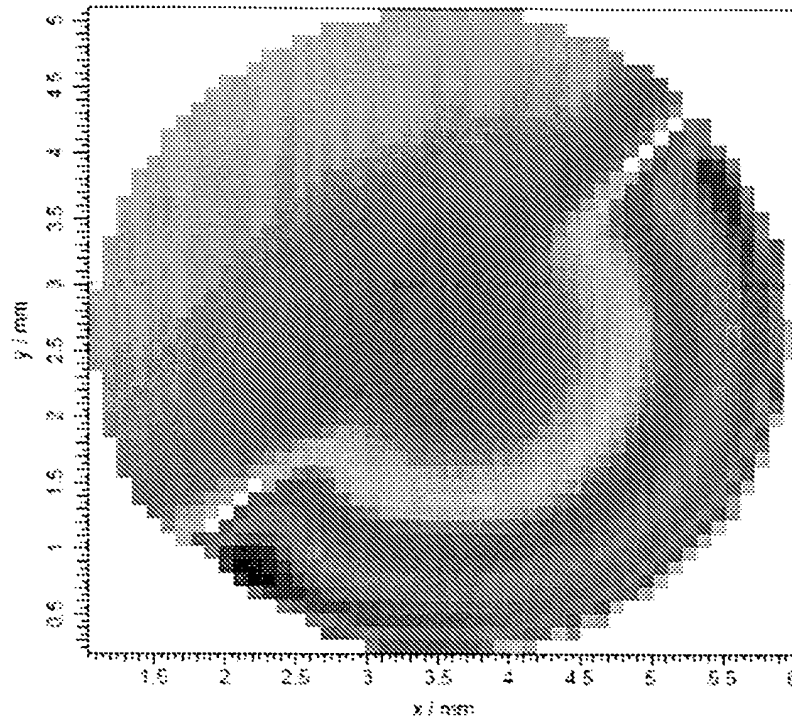


Fig 28

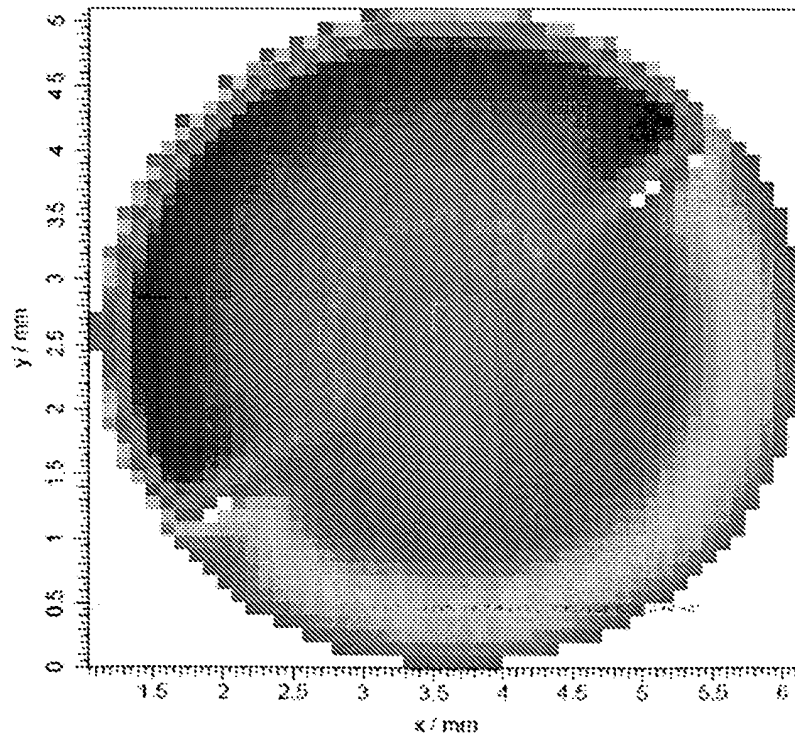


Fig 29

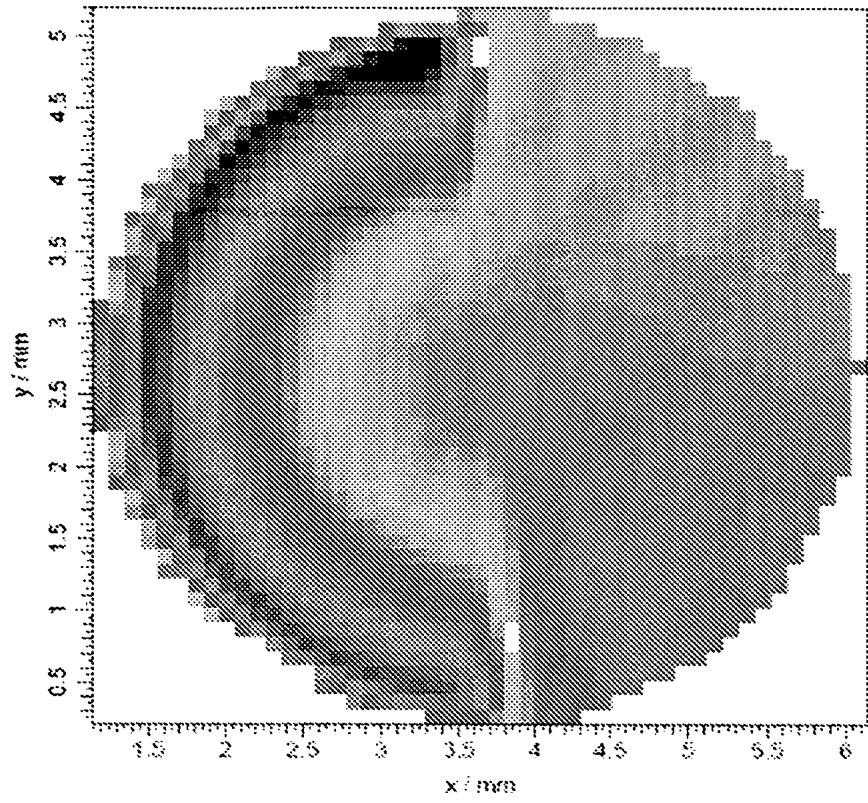


Fig 30

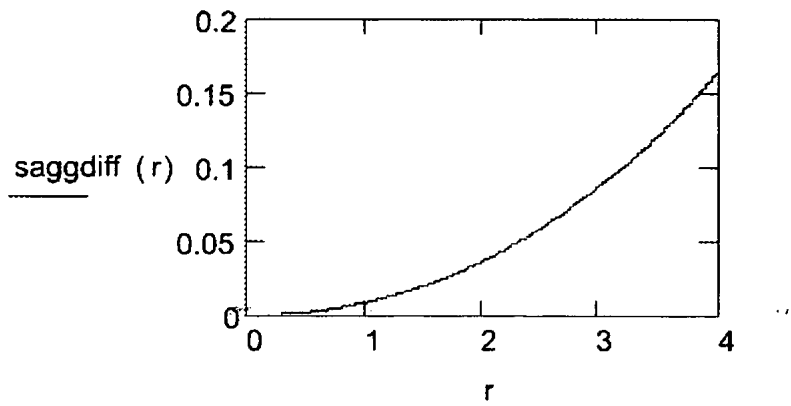


Fig 31

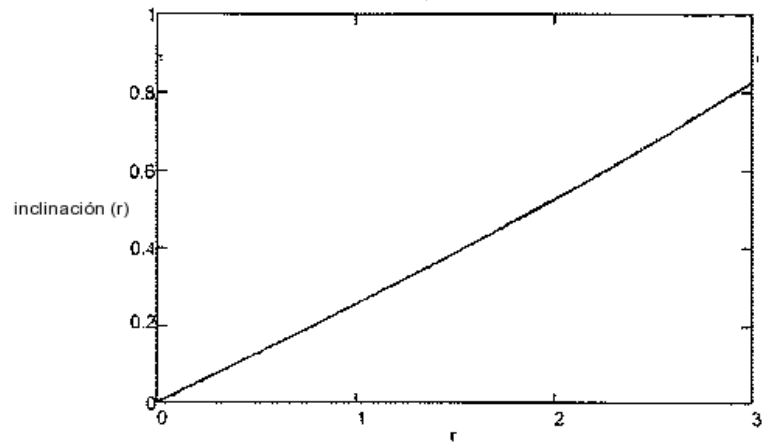


Fig 32

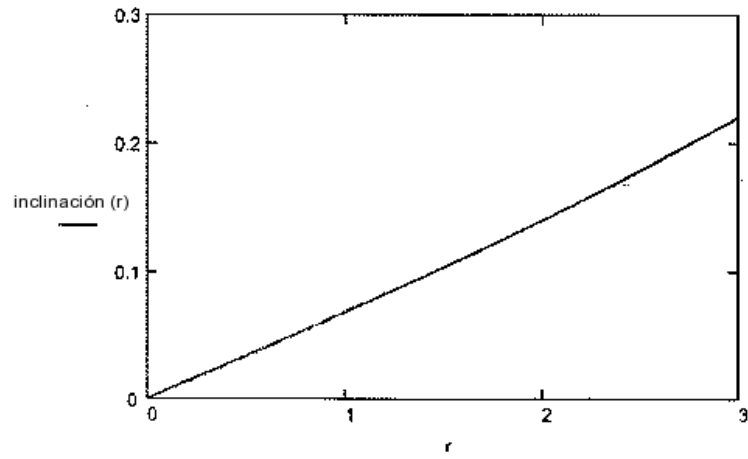


Fig 33

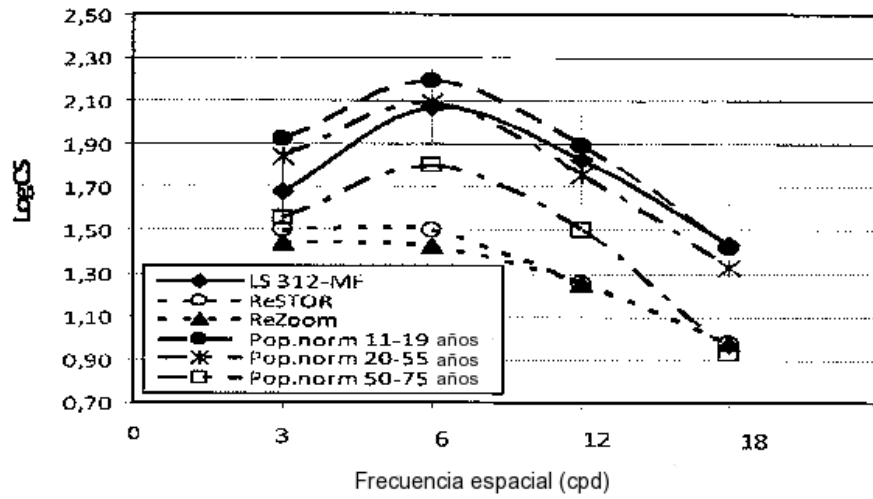


Fig 34

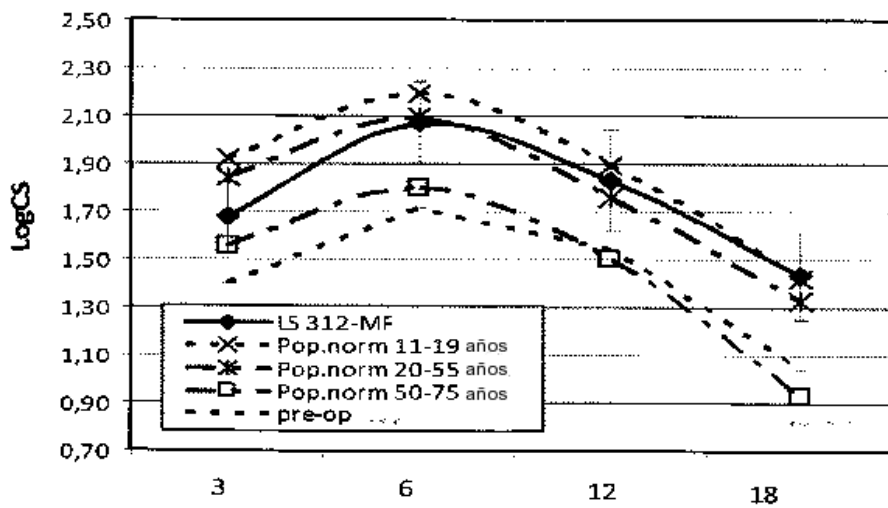


Fig 35

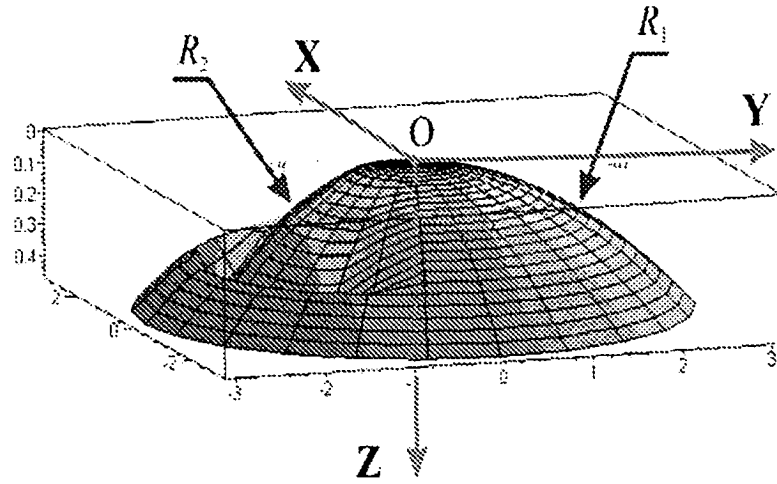


Fig 36

