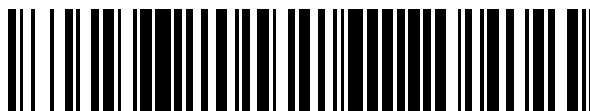


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 297**

51 Int. Cl.:

G02C 7/04 (2006.01)

A61F 2/16 (2006.01)

G02C 7/02 (2006.01)

G02C 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2010 E 14170812 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.09.2015 EP 2790052**

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

30 Prioridad:

17.02.2009 NL 2002540
17.02.2009 US 153044 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.12.2015

73 Titular/es:

OCULENTIS HOLDING B.V. (100.0%)
Kollergang 9
6961 LZ Eerbeek, NL

72 Inventor/es:

WANDERS, BERNARDUS FRANCISCUS MARIA y
WOLTERINCK, WALTER BERNARDUS
JOHANNES

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 555 297 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 oftálmica con sectores ópticos

Antecedentes

La presente invención se refiere a una lente oftálmica que comprende una parte de lente principal y una parte rebajada.

Un tipo particular de lentes oftálmicas de este tipo es una lente intraocular multifocal (LIOM). Por lo general, esta comprende una parte de lente con un centro, parte de lente que está provista, sobre la periferia, con unas partes de soporte (hápticas). Las lentes de este tipo se conocen en general en el estado de la técnica. Estas se usan para la sustitución del cristalino después de operaciones de catarata, por ejemplo, se han realizado muchos intentos para proporcionar una 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 esencial. Para que este tipo de lente funcione de forma adecuada, 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 tal modo que la visión no presente una tendencia hacia ninguna corrección de visión. Es obvio que, debido a la gran variación en los niveles de luz en la vida diaria que, en consecuencia, cambia el diámetro de la pupila, debe alcanzarse una solución intermedia al seleccionar el tamaño de cada zona. Este problema, al que también se hace referencia como "dependencia pupilar", se complica adicionalmente debido a que 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 patentes de EE. UU. nº 4.636.049, 4.418.991, 4.210.391, 4.162.172; y 3.726.587, y en las solicitudes de patente US 2006/0212117, EP0590025B1, US6126286. Otro problema de esas LIOM diseñadas concéntricas anulares son las imágenes fantasma y la borrosidad 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. Por lo general se usa un intervalo de tamaños de objetivo. 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 el 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 diversas 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 ya no puede oírse. Este procedimiento se usa para analizar 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.

Se reivindica que el problema de la dependencia pupilar del rendimiento multifocal de visión simultánea se ve reducido por una realización adicional de multifocales de visión simultánea que funciona bajo los principios de difracción. Ejemplos de estos tipos de lentes se presentaron en las patentes de EE. UU. nº 4.641.934 y 4.642.112. Debido a la naturaleza de la óptica difractiva, por lo menos un 20 % de la luz entrante se perderá y los pacientes experimentarán halos y deslumbramiento.

Para resolver esta independencia pupilar se han realizado diferentes intentos, tal como se divulga en el documento US 4.923.296 que describe una lente dividida en una serie de zonas sustancialmente diferenciadas de cerca y de distancia. No es evidente a partir de esta divulgación cómo podrían hacerse o unirse entre sí estas zonas de visión. El documento WO 92/06400 describe una lente oftálmica esférica. Las zonas superficiales se definen de forma tridimensional formando una superficie lisa sin puntos de unión y continua de forma conjunta la una con la otra. Será claro para un experto en la materia que una lente de este tipo experimentará una gran disminución de la calidad óptica. El documento US4921496 describe una LIO segmentada en sentido radial simétrica frente a rotación. Esta LIO no tiene puntos de unión en la superficie, ya que los materiales para cada segmento deberían tener unos índices refractivos diferentes para crear las diferentes potencias.

Otra lente con una parte de distancia y una parte de cerca se describe en los documentos EP0858613 (B1) y US6409339 (B1) de Procornea Holding B. V. del inventor de la presente invención, y que se incorporan por referencia como si se hubieran expuesto plenamente. Estos documentos divulgan lentes de contacto, pero también se refieren a las LIO. Una lente de este tipo difiere de otras lentes en que la parte de lectura se ubica en el límite (imaginario) de la parte de distancia. Es decir, la parte de lectura está sobre o dentro del radio imaginario del límite externo de la parte de distancia (Rv). Si se usa una parte de lectura, esta se hace preferentemente como un sector que se extiende a partir del centro de la lente. Esta lente probó tener muchas posibilidades. Hay, no obstante, margen para mejoras adicionales.

Se ha descubierto, después de un análisis clínico exhaustivo, que para una LIOM tal como se divulga en el documento US6409339 (B1), el perfil de transición que se usa para interconectar la altura de escalón entre los límites de sector no es óptimo. Esto da como resultado una reducción del área óptica utilizable y una pérdida significativa de la energía luminosa y la sensibilidad al contraste. La configuración óptica tal como se divulga en este documento proporciona una imagen bifocal diferenciada mientras que una imagen multifocal es necesaria para reducir el halo con un tamaño de pupila grande y, al mismo tiempo, tener una visión clara con un contraste alto a una distancia de cerca e intermedia. Los documentos 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 interconectar la diferencia de altura de escalón entre ambas partes ópticas. El documento US6871953, a nombre de Mandell, publicado en septiembre de 2003, divulga sorprendentemente el mismo uso de tipos de curva sigmoideas para interconectar la altura de escalón, dando como resultado exactamente la misma configuración de lente que se describe en el documento EP0858613 (B1). El propósito de las curvas sigmoideas en ambas solicitudes es lo que respecta a las lentes de contacto es hacer las transiciones entre las partes ópticas lo más suave posible para reducir la fricción del párpado. Un inconveniente de las amplias transiciones que se describen en estas es que esto también crea una alta pérdida de energía luminosa y se encontró que reduce la sensibilidad al contraste. El documento US6871953 divulga hacer las transiciones más amplias para crear unas transiciones incluso más suaves. Debido al principio alternante de una lente de contacto, la lente de contacto hoy en día se mueve hacia arriba sobre el ojo cuando la línea visual está por debajo de la mirada. No está determinada la pérdida de luz en las transiciones bajo estas condiciones alternantes para las lentes de contacto. Lo opuesto, no obstante, es verdad para una LIOM. Una lente de este tipo está fija en el ojo. El área óptica utilizable de los sectores de semimeridiano se reducirá, lo que lleva a que se dirija menos energía de luz a la mácula. Esto da como resultado un rendimiento óptico pobre tanto para la visión de distancia como la de cerca. Además, se ha descubierto que, debido al hecho de que el tamaño de la pupila varía bajo condiciones diferentes de luz, pueden tener lugar efectos indeseados de halo con un tamaño de pupila grande. Por lo tanto, sería beneficioso tener un perfil de potencia apodizada en la parte de lectura para reducir este fenómeno e introducir multifocalidad al mismo tiempo.

El documento US-7.004.585 divulga una lente de contacto multifocal con un diseño combinado para una zona óptica segmentada. La lente de contacto debería moverse fácilmente sobre el ojo para hacer que la zona de lectura inferior esté disponible. Además, una zona de transición o de combinación debería diseñarse para evitar la borrosidad y las imágenes fantasma. Para ese fin, la zona de combinación debería tener una transición suave para mejorar la comodidad de los usuarios. Además, la zona de combinación debería incluir una magnitud de curvatura para refractar la luz lejos de la región macular del ojo. Las distintas zonas ópticas deberían influir entre sí tan poco como sea posible. En este documento, el titular de la patente parece haber identificado el problema. La solución de hacer la zona de combinación tan suave como sea posible y proporcionar una zona de lectura de una manera particular, no obstante, parece compleja. No obstante, el diseño de lente oftálmica puede mejorarse adicionalmente. En particular para los dispositivos de LIO, hay margen para mejoras adicionales.

En el documento 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.

Sumario de la invención

Por lo menos algunas de las desventajas de la técnica anterior que se han ilustrado en lo que antecede se superan por la presente invención tal como se define en la reivindicación 1.

Para ese fin, la invención proporciona una lente intraocular (LIO) (1) que comprende una lente (3) con una parte de lente principal (4) que tiene una superficie, teniendo dicha parte de lente principal (4) una potencia óptica de entre aproximadamente - 20 y aproximadamente + 35 dioptrías; un centro óptico, y un eje óptico (R) a través de dicho centro óptico; una parte rebajada (7, 8) que tiene una superficie que está rebajada con respecto a dicha superficie de dicha parte de lente principal (4), teniendo dicha parte rebajada (4) por lo menos un límite con dicha parte de lente principal, estando dicha parte rebajada (7, 8) situada a una distancia de menos de 2 mm de dicho centro óptico y comprendiendo una parte de cerca que tiene una dioptría relativa de aproximadamente + 1,0 a aproximadamente + 5,0 con respecto a la potencia óptica de dicha parte de lente principal (4), formando dicho límite o límites de dicha parte de lente rebajada con dicha parte de lente principal una parte de combinación o partes de combinación (10, 11) formadas para refractar la luz lejos de dicho eje óptico, estando dicha parte rebajada en dos lados delimitada por unos semimeridianos que discurren a partir de dicho centro óptico, estando de este modo la parte rebajada formada como una zona de meridiano, estando dichas partes de combinación en dichos dos lados dentro de unos semimeridianos que encierran un ángulo (γ) mayor que 1 grado y de menos de 35 grados, y teniendo una forma de dichas partes de combinación una curva con forma de S que tiene en su parte más inclinada una pendiente o primera derivada en un intervalo central de la parte de combinación a 1,6 mm de dicho centro óptico de menos de 0,41.

Esta lente oftálmica permite que diversas partes ópticas sean integradas en una única lente, de una forma tal que estas influyen entre sí tan poco como sea posible. Por ejemplo, esta permite una lente oftálmica con una parte de lectura de una forma tal que la visión de distancia, visión intermedia y visión de cerca influyen entre sí de poco a nada. De hecho, los inventores de la presente invención descubrieron que eran capaces de aumentar de forma significativa la sensibilidad al contraste de las lentes oftálmicas. En el pasado, una lente se hubiera diseñado para dar lugar a tan poca perturbación con fuera posible.

En una realización, dicha parte de combinación o partes de combinación tienen una curvatura que da como resultado una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, de menos de aproximadamente un 15 %, dicha pérdida de luz definida como la fracción de la cantidad de luz enfocada a partir de la LIO en comparación con la cantidad de luz enfocada a partir de una LIO idéntica sin dicha parte rebajada.

En una realización de la presente invención, se descubrió que se pueden permitir unas transiciones bruscas, siempre que estar den lugar a que la luz se refracte lejos del eje óptico. De hecho, cuando estas transiciones bruscas dan lugar a que la lente refracte menos de un 15 % de la luz lejos del eje óptico, esto daría como resultado, por ejemplo, una LIO que proporciona una sensibilidad al contraste y una visión mejoradas. Esta pérdida de luz de hecho se define para un diámetro de pupila de 4 mm.

En este aspecto, la luz se define como la luz en el intervalo de longitud de onda visual. Por lo general este está entre aproximadamente 400 - 700 nm.

La cantidad de luz enfocada es la suma de luz enfocada en todos los planos principales focales de la LIO. Por lo tanto, si, por ejemplo, la parte central tiene una dioptría relativa 0, y la parte rebajada tiene una dioptría relativa con respecto a la parte de lente principal, la lente por lo general tendrá dos planos focales, uno para la parte de lente principal y uno para la parte rebajada. Si el área óptica de la parte rebajada es un 30 % de la totalidad del área de la lente y el área de la parte de lente principal es un 70 %, y no hay ninguna otra pérdida, entonces un 30 % de la luz enfocada estará disponible en el plano focal de la parte rebajada y un 70 % de la luz enfocada estará disponible en el plano focal de la parte de lente principal.

En una realización, la lente comprende por lo menos un sector óptico rebajado de semimeridiano que está subdividido en sentido radial y / o angular en subzonas. Por lo tanto, esta puede comprender un sector interno, un sector intermedio y un sector externo, ubicado 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. Las alturas de escalón entre los límites de los sectores de semimeridiano están unidas por medio de un perfil de transición optimizado para maximizar la energía luminosa dirigida a la mácula y para reducir la borrosidad y los halos a mayores tamaños de pupila. Los sectores de semimeridiano de la lente oftálmica pueden tener un perfil de potencia continuo. Como alternativa, los sectores ópticos subcirculares se combinan entre sí. También son posibles combinaciones de los mismos. El sector o sectores subdivididos proporcionarán una visión clara a distancias de lectura e intermedias, mientras que la visión de distancia y la sensibilidad al contraste se mantienen comparables con las de una lente oftálmica monofocal.

La presente invención se puede configurar también para proporcionar unas lentes que tienen un buen rendimiento en ojos con aberraciones corneales variables (por ejemplo, diferentes asfericidades), incluyendo la aberración esférica, a lo largo de un intervalo de descentralización, es decir, una desviación entre el eje óptico o centro de la lente y el eje óptico del ojo. Esto significa que la colocación de la LIO se vuelve menos esencial.

En una realización, las lentes oftálmicas de la invención pueden comprender más de tres zonas de sector de submeridiano o de semimeridiano subdivididas.

En una realización adicional de la invención, la superficie opuesta de la lente puede comprender una superficie asférica, de una forma tal que la aberración esférica residual se reducirá a aproximadamente cero. Por ejemplo, tal como se describe en, pero sin limitarse a, los documentos EP1850793, 1857077 o US2006279697 que se incorporan al presente documento como referencia.

En una realización adicional de la invención, la parte de lectura refractiva rebajada de semimeridiano puede comprender límites en todos los lados, y puede incluso comprender una estructura de elemento óptico difractivo adicional (DOE), por ejemplo, tal como se describe en, pero sin limitarse a, los documentos EP0888564B1 o EP1194797B1, que se incorporan al presente documento como referencia.

Otro objeto de la invención es la provisión de un procedimiento y de unas curvas optimizadas para optimizar y mejorar la inclinación del perfil de transición para interconectar las diferencias de altura entre partes de lente. Estas partes de combinación mejoraron la transición entre diversas partes. El uso de estas partes de combinación reducirá la pérdida de energía de luz y maximizará el área o áreas ópticas utilizables de forma significativa. Las diferencias de altura de escalón en, por ejemplo, límites de semimeridiano se pueden interconectar mediante procedimientos que usan una trayectoria de coseno o función sigmoidea. En una realización, no obstante, se proponen unas funciones de transición optimizadas. Estas funciones de transición obtenidas consistentes con los resultados de la función de perfil optimizada son consistentes con las realizaciones de la invención.

La relación de dimensión y / o de potencia óptica entre diversas partes, por ejemplo, una parte de lectura de semimeridiano subdividida y una parte de lejos, pueden variar mutuamente. Si se usan dos lentes, para ambos ojos del paciente, una lente se puede configurar para el ojo dominante y la otra lente para el ojo no dominante. Es 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.

También se conoce que hay una dependencia funcional entre el tamaño de pupila y la luminancia. Por ejemplo, estos datos se proporcionan en el documento de Glen Myers, Shirin Berez, William Krenz y 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 (que se denomina popularmente luminosidad) dentro del campo visual. El tamaño de pupila está influido mucho más por la parte de la retina asociada a la visión central, o foveal, que por las áreas

externas de la retina.

La siguiente lista presenta algunos niveles de luminosidad de campo y condiciones “típicas” asociadas

Luminosidad de campo (cd / m2)	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

5 Una lente de semimeridiano personalizada rebajada podría diseñarse usando determinadas condiciones de luminosidad de campo para calcular la parte central óptima y o parte de lectura en relación con el diámetro de pupila específico.

Además del sector de distancia correctivo y el sector de cerca de semimeridiano subdividido que se han descrito en lo que antecede, se pueden hacer correcciones adicionales 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 sin limitarse a, astigmatismo y aberración esférica, puede disponerse en el lado posterior o anterior de la presente lente.

La parte rebajada, por ejemplo, formada como un sector de lectura de semimeridiano, se sitúa en el ojo en una realización en la parte inferior o parte de debajo (inferior) de la lente debido a que esta se corresponde con la inclinación natural de la gente para mirar abajo cuando lee. No obstante, la colocación del sector de lectura de semimeridiano en el ojo no es esencial y puede situarse de forma superior, inferior, nasal o temporal. Sectores de distancia y de cerca pueden incluso disponerse en una disposición opuesta para los dos ojos de una persona.

La lente oftálmica o molde que se describe en el presente documento se puede hacer de cualquier manera conocida en la técnica. Para una lente intraocular, por ejemplo, es además posible hacer la parte de la lente y la háptica por separado y conectarlas entre sí más adelante. No obstante, es también posible hacerlas como una entidad. De acuerdo con una realización, estas partes se han realizado como una entidad mediante moldeo (por inyección). Un tratamiento posterior para producir las partes de lente apropiadas puede ser la rotación. Tal como se describe en el documento US6409339B1, durante una operación de rotación de este tipo, un vástago de herramienta puede moverse cada revolución hacia y lejos de la lente en la dirección paralela con respecto al eje de rotación. Esto hace posible producir la parte de la lente por rotación. Es también posible de acuerdo con una realización ejecutar la rotación de una forma tan precisa que se pueda omitir una operación de pulido posterior. El material de la lente puede ser cualquier material deseado.

La configuración óptica de lente oftálmica novedosa, por ejemplo, también se puede usar para las lentes de contacto y para pacientes con lentes intraoculares pseudofáquicas como las denominadas “lentes suplementarias”. 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 restablecer las capacidades de lectura. La lente suplementaria podría colocarse en el saco, el sulcus, como incrustación en la córnea o como una lente de cámara anterior.

Con los aparatos de puesta en correspondencia de potencias de lente modernos, como el sistema Hartmann Shack de alta resolución, “SHSInspect Ophthalmic” facilitado comercialmente por Optocraft Germany, es posible determinar las potencias refractivas locales y un intervalo amplio de variaciones superficiales pertinentes. Estas mediciones pueden, por lo tanto, identificar una lente hecha conforme a la presente invención muy fácil.

En una realización, la curvatura da como resultado una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, de entre aproximadamente un 2 % y aproximadamente un 15 %. De hecho, por lo general 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 combinación que están encerradas por o son posiciones dentro de dos meridianos o, para ser más precisos, semimeridianos que discurren desde el centro óptico hasta el borde de una lente.

La pérdida de luz, o mejor, pérdida de intensidad, real, se puede medir con un sistema PMTF que es facilitado comercialmente por 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 analizará en lo sucesivo en la descripción de realizaciones.

En una realización, la parte de lente principal tiene una potencia óptica de entre aproximadamente - 10 y aproximadamente + 30 dioptrías.

En una realización, la parte rebajada se sitúa a una distancia de menos de 1,5 mm de dicho centro óptico. En este aspecto, la distancia se define como la distancia radial más cercana del centro óptico.

5 En una realización, la parte de cerca tiene una dioptría relativa de aproximadamente + 1,50 dioptrías a aproximadamente + 4,00 dioptrías con respecto a dicha parte de lente principal. Por lo tanto, esta permite el uso como una parte de lectura, por ejemplo. La óptica de la parte central al igual que de la parte de lente principal y de la parte rebajada puede además diseñarse para que sea tórica, cilíndrica o diseñarse para compensar aberraciones de un orden superior. Estos tipos de diseño de lente son tal como se conocen por un experto en la materia, y pueden además aplicarse a las diversas partes de lente de la presente invención.

10 En una realización, el límite o límites de semimeridiano de dicha lente rebajada con dicha parte de lente principal tienen una curvatura que da como resultado una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, por debajo de aproximadamente un 10 %. Esta pérdida de luz muy baja, en particular, en combinación con la refracción lejos del eje óptico, ya da como resultado una sensibilidad al contraste más alta y una buena capacidad de lectura.

En una realización, la parte de lente principal tiene una curvatura con sustancialmente un radio de curvatura R_v , y el límite externo del rebaje, es decir, su superficie, se encuentra en o dentro del radio de curvatura R_v .

20 En una realización, la lente oftálmica comprende además una parte central que tiene una potencia óptica relativa de - 2,0 a + 2,0 dioptrías con respecto a dicha parte de lente principal. Por lo tanto, puede ser posible requerir que una parte rebajada sea menos profunda y, por lo tanto, que las partes de combinación tengan menos influencia.

25 En una realización, el tamaño de dicha parte central es de una forma tal que esta encaja dentro de un círculo circunscrito con un diámetro de aproximadamente 0,2 - 3,0 mm. Por lo tanto, se descubrió que la visión de distancia se vería influida tan poco como es posible por la parte rebajada. En una realización, el tamaño de dicha parte central es de una forma tal que esta encaja dentro de un círculo circunscrito con un diámetro de aproximadamente 0,2 - 2,0 mm. En una realización, dicha parte central es sustancialmente circular.

30 En una realización de la lente con una parte central, la lente comprende una parte de combinación adicional entre la parte central y la parte rebajada. Esta parte de combinación es por lo general concéntrica o casi concéntrica con respecto al eje óptico. En una realización, la parte de combinación adicional tiene una transición suave. Como alternativa, la pendiente tiene un pliegue. En la presente realización, la primera derivada de la pendiente es discontinua. Por lo tanto, el radio de curvatura de la superficie tiene un pliegue. Una ventaja de la presente realización es que la parte rebajada será menos profunda con respecto a la parte de lente principal. Como alternativa, la parte de combinación adicional está cerca de, se aproxima a o es una función escalón. Debido a que esta parte de combinación adicional es concéntrica, esto da lugar a poca perturbación en la visión.

35 En una realización, la parte rebajada está delimitada por unos semimeridianos que discurren a través de dicho centro óptico, teniendo de este modo la parte rebajada la forma de una zona de meridiano. De hecho, las partes de combinación que combinan la parte de lente principal y la parte rebajada siguen por lo tanto meridianos tanto como es posible. De hecho, una parte de combinación de este tipo se dispondrá entre dos semimeridianos que discurren a través del centro óptico.

40 En una realización que comprende dicha parte central, dicha parte rebajada está, en por lo menos un límite, delimitada por dicha parte central.

En una realización que comprende dicha parte central, dicha parte central tiene una sección transversal de aproximadamente 0,60 - 1,20 mm. Esto permite una parte rebajada que influye, por ejemplo, en la sensibilidad al contraste tan poco como sea posible.

45 En una realización que comprende dicha parte rebajada formada como una zona de meridiano, dicha parte rebajada tiene un ángulo comprendido de aproximadamente 160 - 200 grados. En una realización de este tipo, por lo menos dos límites con la parte de lente principal sustancialmente siguen meridianos. En la práctica, estos límites se forman por partes de combinación. Tal como ya se ha dicho en lo que antecede, por lo general una parte de combinación de este tipo está sujeta entre dos semimeridianos. En la práctica cuando se usa una curva optimizada que se explica en lo sucesivo, la parte de combinación no sigue exactamente un meridiano, sino que se curvará ligeramente. En una
50 realización, dicha parte rebajada tiene un ángulo comprendido de aproximadamente 175 - 195 grados.

En una realización, la lente oftálmica tiene una sección transversal de aproximadamente 5,5 - 7 mm. En particular en el caso de una lente intraocular, u otra lente soportada de forma ocular como una lente de contacto, esta estará en un intervalo de diámetros de este tipo.

En una realización, la parte de lente principal está en forma de una lente de distancia.

En una realización, la parte rebajada forma una parte de lectura.

En una realización que comprende dicha parte central, dicha parte rebajada está delimitada por dos semimeridianos y una línea de latitud concéntrica y a una distancia con respecto a dicha parte central.

En una realización, dicha parte rebajada comprende por lo menos dos subzonas con potencias ópticas que difieren.

5 En una realización, estas subzonas son concéntricas.

En una realización, las potencias ópticas de dichas subzonas aumentan en dirección radial. En una realización, las potencias ópticas de dichas subzonas disminuyen en dirección radial.

10 En una realización, la potencia óptica de la parte rebajada aumenta en dirección radial. Por lo tanto, es posible proporcionar una parte de visión intermedia entre la parte de lente principal y, si está presente, la parte central, y una parte de cerca o de lectura proporcionada en la parte rebajada. La combinación entre estas regiones o zonas de potencia óptica creciente debería diseñarse con cuidado. Esta puede requerir la compensación de menos altura de escalón en las partes de combinación.

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

20 En una realización, la parte rebajada comprende un primera subzona central y otras dos subzonas próximas en sentido circunferencial a ambos lados de dicha primera subzona. En una realización de la misma, dicha primera subzona tiene una potencia óptica mayor que la potencia óptica de las otras subzonas. En una realización, los otras dos subzonas tienen una potencia óptica mayor que la potencia óptica de dicha parte de lente restante.

En una realización, unos meridianos delimitan dicha parte rebajada. De hecho, dos semimeridianos delimitan dicha parte rebajada, definiendo de este modo 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 en lo que antecede, esta parte de sector tiene una parte a partir de la formación de una parte de sector que tiene quitada una parte de la punta.

25 En una realización, las partes de combinación están dentro de unos meridianos que encierran un ángulo de menos de 17°, en una realización particular menos de 15°. En una realización, unas partes de combinación pueden incluso diseñarse para estar dentro de unos meridianos que encierran un ángulo de menos de 5°. Esto, no obstante, requiere un diseño muy cuidadoso de las curvas y las pendientes o derivadas de las curvas.

30 En una realización la dicha pendiente de las partes de combinación tiene una curva S y tienen una inclinación con una pendiente o primera derivada en un intervalo central de la parte de combinación a 1,6 mm de dicho centro óptico de más de 0,1 en su parte más inclinada. En una realización dichas partes de combinación tienen una inclinación con una pendiente o derivada en un intervalo central de la parte de combinación a 2,8 mm de dicho centro óptico de más de 0,2 en su parte más inclinada.

35 En una realización, por lo menos una de dichas partes de combinación, en particular en por lo menos una parte de combinación de semimeridiano, tiene una curva con forma de S que sigue una primera curva parabólica que discurre desde la superficie de parte de lente principal hacia la superficie de la parte rebajada, teniendo una parte de curva intermedia que conecta con dicha primera curva parabólica, y continuando siguiendo una segunda curva parabólica que termina en la superficie rebajada.

40 En una realización, dicha parte de curva intermedia en su parte más inclinada tiene una primera derivada de por lo menos 0,05 a 0,4 mm de dicho centro óptico, en una realización por lo menos de 0,1 a 0,8 mm, en una realización por lo menos de 0,15 a 1,2 mm, en una realización por lo menos de 0,2 a 1,6 mm, en una realización por lo menos de 0,3 a 2,0 mm, en una realización por lo menos de 0,4 a 2,4 mm, en una realización por lo menos de 0,5 a 2,8 mm.

45 La invención se refiere adicionalmente a una lente intraocular suplementaria para insertarse en el saco, el sulcus, como incrustación en la córnea o una lente de cámara anterior, que comprende la lente oftálmica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha parte de lente principal tiene una potencia óptica de aproximadamente - 10 a + 5 dioptrías.

50 La invención se refiere adicionalmente a una lente oftálmica que comprende 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 de meridiano que comprende un rebaje que está delimitado por dicha parte sustancial central circular, por dos meridianos que discurren a través del centro de dicha parte circular, y por un límite inferior que es sustancialmente concéntrico con respecto a dicha parte circular, dicha parte de meridiano formada como un rebaje en dicha lente, el límite externo del rebaje se extiende sobre o dentro del radio de curvatura R_v , comprendiendo dicha parte de meridiano una parte de lectura.

La invención se refiere adicionalmente a un procedimiento para la producción de una de las lentes oftálmicas que se han descrito en lo que antecede, que comprende una etapa de rotación, en la 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 retirada de material, caracterizada por el hecho de que durante la rotación la lente rotante y dicho dispositivo de retirada de material se mueven hacia y lejos el uno del otro en dirección al eje de rotación, para formar por lo menos una parte rebajada en dicha lente oftálmica. Este procedimiento de producción permite producir lentes con las propiedades requeridas.

La invención se refiere adicionalmente a una lente multifocal correctiva soportada de forma ocular provista de una parte de lente central sustancialmente circular, una parte de lente inferior en una parte de lente inferior próxima a dicha parte de lente central, y otra parte de lente, la parte de lente inferior comprende un rebaje que comprende dos lados que discurren desde dicha parte de lente central hacia el borde de la lente, el límite externo de la parte de lente inferior se encuentra 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, en la que dichos dos lados proporcionan una pendiente de la otra superficie de parte de lente a la superficie rebajada de la parte de lente inferior, siguiendo dicha pendiente una primera curva parabólica que discurre desde la superficie de parte de lente adicional hacia la superficie de parte de lente inferior, y continuando siguiendo una segunda curva parabólica que termina en la superficie rebajada.

La invención se refiere adicionalmente a una lente oftálmica que comprende 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 por lo menos un límite con dicha parte rebajada, dicha parte rebajada situada a una distancia con respecto a dicho centro óptico, se forman límites de dicha lente rebajada con dicha parte de lente principal como partes de combinación que se forman para refractar la luz lejos de dicho eje óptico, dicha parte de lente principal, dicha parte central, dicha parte rebajada y dichas partes de combinación mutuamente situadas y formadas para proporcionar una característica de LogCS bajo unas condiciones fotópicas de luz, por lo general a aproximadamente $85 \text{ Cd} / \text{m}^2$, en un plazo de 6 meses tras la operación, en una frecuencia espacial (cpd) entre 3 - 18 que está por lo menos entre la norma de población de 11 - 19 años y 50 - 75 años.

En una realización de esta lente, en una frecuencia espacial (cpd) entre aproximadamente 6 y 18, su característica de LogCS bajo unas condiciones fotópicas de luz, en un plazo de 6 meses tras la operación, por lo general a aproximadamente $85 \text{ Cd} / \text{m}^2$, está en el intervalo de normalidad por encima de la norma de población de los adultos de 20 - 55 años con ojos sanos.

La invención se refiere adicionalmente a una lente intraocular que comprende una parte de lente principal, una parte rebajada situada a una distancia con respecto a 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 que delimita en un lado dicha parte rebajada, en la que el diámetro de dicha parte central se adapta al diámetro de pupila del usuario.

En una realización, el diámetro de dicha parte central es aproximadamente de un 20 - 40 % del diámetro de pupila del usuario en unas condiciones de iluminación de oficina, es decir 200 - 400 lux. Por lo tanto, la LIO se puede hacer a medida.

Diversos aspectos y / o características que se describen en el presente texto pueden combinarse. Características y aspectos también pueden formar parte de una o más solicitudes divisionales que hacen referencia, por ejemplo, a aspectos de la producción que dan como resultado procedimientos, tipos específicos de lentes oftálmicas, como las ya mencionadas en el presente texto, o a características específicas como las zonas de combinación o de transición, la parte rebajada y sus características, o la parte central.

Descripción de realizaciones con referencia a los dibujos

La invención se aclarará además en referencia a realizaciones de una lente oftálmica de sector multifocal, (MSOL), que se muestran en los dibujos adjuntos, que muestran en:

- la figura 1, una sección transversal de un ojo humano;
- la figura 2, una sección transversal de un ojo humano con una LIO;
- la figura 3, una vista frontal de una realización de una LIOSM con una parte óptica central y una parte rebajada;
- la figura 4, una vista lateral de la LIOSM de acuerdo con la figura 3;
- la figura 5, una vista en corte transversal a lo largo de la línea IV de la LIOSM de acuerdo con la figura 3;
- la figura 6, un detalle de la sección transversal de acuerdo con la figura 5;
- la figura 7, una vista lateral frontal en perspectiva de la LIOSM de acuerdo con la figura 3;
- la figura 8, una vista lateral posterior en perspectiva de la LIOSM de acuerdo con la figura 3;
- la figura 9, una vista frontal de otra realización de una LIOSM con una parte rebajada subdividida en tres sectores ópticos divididos en sentido meridional y un sector óptico central;
- la figura 10, una vista lateral de la LIOSM de acuerdo con la figura 9;
- la figura 11, una vista lateral frontal en perspectiva de la LIOSM de acuerdo con la figura 9;
- la figura 12, una vista frontal de una variante adicional de la LIOSM con un elemento de sector de semimeridiano rebajado difractivo;

la figura 13, una vista lateral de la LIOSM de acuerdo con la figura 12;
 la figura 14, una vista en corte transversal a lo largo de la línea XIV de la LIOSM de acuerdo con la figura 12;
 la figura 15, un detalle de la sección transversal de acuerdo con la figura 14;
 la figura 16, una vista lateral frontal en perspectiva de la LIOSM de acuerdo con la figura 12;
 5 la figura 17, una comparación entre una trayectoria de transición optimizada y una trayectoria de coseno de una zona o parte de transición o de combinación, que ilustra que en el mismo tiempo con el perfil optimizado es posible un desplazamiento más grande;
 la figura 18, la función sigmoidea sin escala ni traslación alguna en el intervalo [- 10, 10];
 la figura 19, la aceleración eficaz o experimentada (la segunda derivada) durante la transición sigmoidea;
 10 la figura 20, la reducción de la anchura de zona de transición mediante el cálculo del tiempo de transición y la distancia que se necesitan de acuerdo con el procedimiento que se describe en el presente documento de forma local, la anchura de zona de transición es nula cerca del centro;
 las figuras 21 - 26, unas gráficas que muestran la distribución de energía en diversas partes de diferentes realizaciones de lentes oftálmicas;
 15 las figuras 27 - 29, unos datos medidos de lentes oftálmicas;
 las figuras 30 - 32, unas gráficas de la inclinación de zonas o partes de combinación o de transición;
 las figuras 33 y 34, unos resultados de prueba que muestran el LogCS frente a la frecuencia espacial;
 la figura 35, que muestra un modelo superficial de una de las realizaciones;
 la figura 36, una configuración esquemática de un instrumento de medida PMTF.

20 **Descripción detallada de realizaciones**

Una realización preferida de la invención se describe a continuación con detalle. En referencia a los dibujos, números similares indican partes similares en todas las vistas. Tal como se usan en la descripción en el presente documento y en todas las reivindicaciones, las siguientes expresiones toman los significados explícitamente asociados en el presente documento, a menos que el contexto indique claramente lo contrario: el significado de “un”,
 25 “una” y “el / la” incluye una referencia plural, el significado de “en” incluye “en” y “sobre”. A menos que se defina de otra manera, todas las expresiones científicas y técnicas que se usan en el presente documento tienen los mismos significados que comúnmente entendería un experto en la materia a la que se refiere la presente invención. En general, la nomenclatura y los procedimientos de laboratorio que se usan en el presente documento se conocen y se emplean comúnmente en la técnica. Se usan procedimientos convencionales para estos procedimientos, como los que se proporcionan en la técnica y en diversas referencias generales.

Se debe entender que los sectores ópticos anteriores son preferentemente concéntricos con el centro geométrico de la superficie posterior.

Un “meridiano vertical” se refiere a una línea imaginaria que discurre en sentido vertical desde la parte de arriba, a través del centro, hasta la parte de debajo de la superficie anterior de una LIOSM cuando dicha LIOSM se mantiene en una orientación previamente determinada en el ojo.
 35

Un “meridiano horizontal” se refiere a una línea imaginaria que discurre en sentido horizontal desde el lado izquierdo, a través del centro, a la derecha de la superficie anterior de una LIOSM cuando dicha LIOSM se mantiene en una orientación previamente determinada en el ojo. Los meridianos verticales y horizontales son perpendiculares entre sí.

40 “Parches superficiales” se refieren a combinaciones de curvaturas y líneas que son continuas en la primera derivada, preferentemente en la segunda derivada, entre sí.

Un “límite externo”, en referencia a una zona que no sea una zona óptica central en la superficie de una LIOSM, se refiere a uno de dos límites periféricos de esta zona que está además lejos del centro geométrico de la superficie anterior.

45 Un “límite interno”, en referencia a una zona que no sea una zona óptica central en la superficie de una LIOSM, se refiere a uno de dos límites periféricos de esta zona que está más cerca al centro geométrico de la superficie anterior.

Un “semimeridiano” se refiere a una línea imaginaria que discurre en sentido radial desde el centro geométrico de la superficie anterior de una LIOSM hasta el borde de la lente.

50 La “parte superior del meridiano vertical” se refiere a una mitad de meridiano vertical que está por encima del centro geométrico de la superficie anterior de una LIOSM, cuando dicha lente se mantiene en una orientación previamente determinada dentro de un ojo.

La “parte inferior del meridiano vertical” se refiere a una mitad de meridiano vertical que está por debajo del centro geométrico de la superficie anterior de una LIOSM, cuando dicha lente se mantiene en una orientación previamente determinada dentro de un ojo.
 55

Una “transición continua”, en referencia a dos o más partes, significa que la pendiente de estos sectores es continua por lo menos en la primera derivada, preferentemente en la segunda derivada.

Un “plano de meridiano vertical” se refiere a un plano que corta a través del eje óptico de una LIOSM y un meridiano vertical sobre la superficie anterior de la LIOSM.

5 Tal como se usa en este caso en referencia a los sectores o partes de una LIOSM, las expresiones “potencia de línea de 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 LIOSM, 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 que intersectan la superficie de la LIOSM 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 por rayos del ojo humano incorporando una LIOSM de sectores subdivididos. En una ubicación particular radial en la superficie de la LIOSM, 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 sobre la superficie y el eje óptico (eje de simetría) se puede usar para definir el radio local de curvatura del frente de onda local. Usando un enfoque de este tipo, la potencia de dioptría es igual a la diferencia en índices de refracción dividida por este radio local de curvatura.

La presente invención tiene por objetivo mejorar las lentes oftálmicas, y, en un aspecto, se refiere a una lente intraocular de sector multifocal (LIOSM) novedosa con por lo menos dos sectores ópticos de semimeridiano en los que por lo menos uno de los sectores ópticos de semimeridiano está dividido en sentido radial o angular y podría comprender un sector interno, un sector intermedio y un sector externo, ubicados 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 las alturas de escalón entre los límites de los sectores de semimeridiano están unidas mediante un perfil de transición optimizado para maximizar energía de luz dirigida a la mácula y para reducir la borrosidad y el halo a mayores tamaños de pupila. Los sectores de semimeridiano de lentes oftálmicas podrían tener un perfil de potencia continuo o los sectores ópticos subcirculares específicos combinarse entre sí o combinar combinaciones de estos. El sector o sectores subdivididos proporcionarán una visión clara para distancias de lectura e intermedia. Mientras que la visión de distancia y la sensibilidad al contraste permanecen comparables con las de una lente oftálmica monofocal con la borrosidad y el halo reducidos a mayores tamaños de pupila. La presente invención también se puede configurar para tener un buen rendimiento con ojos con diferentes aberraciones corneales (por ejemplo, diferentes asfericidades), incluyendo la aberración esférica, a lo largo de un intervalo de descentración.

La lente oftálmica puede diseñarse para tener una potencia nominal óptica para la visión de distancia, definida como “potencia de línea de base”, por lo general de la parte de lente principal, una “potencia añadida” encima de la potencia óptica nominal o potencia de línea de base, y previsto para la visión de lectura. Con frecuencia, también una potencia óptica intermedia se define como adecuada para el entorno particular en el que va a usarse. En el caso de una LIOSM, se prevé que la potencia óptica nominal o potencia de línea de base de una LIOSM estará en general dentro de un intervalo de aproximadamente - 20 dioptrías a por lo menos aproximadamente + 35 dioptrías. La “potencia añadida” en general estará en un intervalo de aproximadamente + 1 dioptría a por lo menos aproximadamente + 5 dioptrías. De manera deseable, la potencia óptica nominal de la LIOSM está entre aproximadamente 10 dioptrías y 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 LIOSM es aproximadamente + 20 dioptrías, y la potencia añadida aproximadamente + 3,00 dioptrías, que es una potencia óptica típica necesaria para sustituir al cristalino natural en un ojo humano.

45 En la figura 1, se muestra una vista esquemática de un ojo humano 100 con su lente natural 106. El ojo tiene un cuerpo vítreo 101 y una córnea 102. El ojo tiene una cámara anterior 103, un iris 104 y un 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 sustituye a la lente original 106.

En la figura 3, se muestra una realización de una lente intraocular (LIO) 1 que tiene unas hápticas 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. Las hápticas 2 pueden tener una forma diferente. En la presente realización, la parte de lente 3 tiene una parte central 6 que es por lo general sustancialmente circular. Esta se puede desviar un poco de un círculo absoluto, pero en la mayor parte de las realizaciones es tan redonda o circular como sea posible en el diseño de lente adicional específico. La parte de lente 3 además tiene una parte de meridiano en un área de rebaje. Este rebaje está por debajo de la superficie de la superficie curvada de la parte de lente restante 4 de la parte de lente 3. Dicho de otra forma, la superficie curvada de la parte de lente restante 4 tiene un radio de curvatura R_v , y el rebaje de la parte de meridiano se encuentra en o dentro del radio de curvatura R_v (véase la 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 tal como se describe en, por ejemplo, el documento US 7.004.585 en las columnas 6, 7 y 8. En particular los polinomios de Zernike se pueden usar para describir cualquier superficie curvada de una lente oftálmica. En la presente realización, la parte de meridiano se divide en dos subzonas concéntricas 7 y 8.

- Las diversas partes, es decir, la parte central 6, la parte de meridiano interna 7 y la parte de meridiano externa 8, tienen cada una 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, entonces la parte central 6 también se puede definir como delimitada por una primera línea de latitud. En esta definición, la subzona 7 puede definirse como delimitada por dos meridianos, la primera línea de latitud y una segunda línea de latitud. Siguiendo esta misma definición, la subzona 8 puede definirse como delimitada por los dos meridianos, la segunda línea de latitud y una tercera línea de latitud. En la mayor parte de las realizaciones, se hace referencia a la parte de meridiano (en cartografía, también se hace referencia a un área de esta forma como “zona longitudinal”) como “parte de lectura”.
- La LIOSM comprende una parte de cerca o parte de lectura que está delimitada sobre o dentro de la zona de lente 3 mientras que la transición entre esas partes se realiza con una función coseno o función sigmoidea pero, de manera deseable, junto con la función de transición optimizada que se analiza en lo sucesivo. En términos generales, se hace referencia a estas curvas de transiciones generales como curvas con forma de S. Estas transiciones tienen una anchura y se hace referencia a las mismas como zona de combinación o zona de transición.
- La parte de cerca o de lectura en una realización tiene un ángulo comprendido α entre aproximadamente 160 y 200 grados. En una realización adicional, el ángulo comprendido está entre aproximadamente 175 y 195 grados. La parte de lectura puede subdividirse ópticamente en por lo menos dos sectores de círculos imaginarios 7 y 8, formando una superficie de transición continua radial en torno al eje óptico o eje geométrico. La forma (y la curvatura de la superficie rebajada) requerida de esos sectores de círculo 7, 8 se pueden calcular usando la técnica de trazado por rayos para controlar por lo menos la cantidad de aberración esférica y, adicionalmente, 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, estas no son visibles en el producto real.
- La parte de lente 3 en la presente realización tiene un diámetro exterior entre aproximadamente 5,5 y aproximadamente 7 mm. En una realización preferida, es aproximadamente 5,8 - 6,2 mm. La parte central o sector interno 6 tiene una potencia óptica por lo menos igual a la potencia de línea de base. De manera deseable, la potencia óptica del sector de círculo interno o parte central 6 está entre un 0 % y un 100 % de la potencia añadida.
- La parte central 6 en una realización tiene un diámetro de entre aproximadamente 0,2 mm y 2,0 mm. En una 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, esta es un círculo circunscrito que tiene el intervalo de diámetros que se menciona en el presente documento.
- El sector de círculo o parte central 6 tiene una potencia óptica por lo menos igual a la potencia de línea de base. En la presente 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 realización, este 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 de base. En una realización, la potencia óptica está entre un 0 y un 100 % de la potencia añadida. Por lo tanto, esta forma una parte intermedia entre la parte de lente principal o la parte central y una 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 realización, esta puede estar entre aproximadamente 2,3 y 2,6 mm. En la presente realización, la parte de lente principal casi continúa en la parte 9. El radio de límite externo en el que 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 realización alternativa, se pueden proporcionar diversas subzonas concéntricas para que la parte rebajada perturbe o influya en la parte central para la visión de distancia tan poco como sea posible.
- La LIO 1 tiene dos zonas de combinación o partes de combinación de semimeridiano 10 que delimitan la parte rebajada 7, 8. Estas partes de combinación de delimitación de semimeridiano 10 tienen un ángulo γ . En una realización, el ángulo será menos de 35°. En una realización, este será menos de 17°. En particular, el ángulo γ será menos de 5°. Por lo general, este será más de aproximadamente 1°.
- La parte rebajada en la presente realización además tiene una zona de combinación 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.
- En las figuras 9 - 11, se muestran diversas vistas de otro ejemplo de una lente oftálmica, como una lente intraocular. En la presente realización, de nuevo la parte rebajada se divide en subzonas. En el presente documento, las dos subzonas externas 7 están dispuestas en sentido angular a ambos lados de una subzona central 8'. La LIOSM 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 de las subzonas externas 7 está entre aproximadamente 10 y 30 grados. En una 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 realización, la subzona central 8' está entre 85 y 100 grados.

El ángulo comprendido total de las subzonas 7, 8' para la visión de cerca e intermedia están delimitados por la parte de lente principal 4. Las transiciones o zonas de combinación entre las diversas partes siguen una función coseno o función sigmoidea. En una realización, siguen una función de transición optimizada que se describe en lo sucesivo. Debido a este perfil de transición optimizada por lo menos una de esas líneas de transición imaginarias será curvada.

Las subzonas 7 y 8' están dispuestas en sentido radial alrededor del eje geométrico. Las formas ópticas de esas partes de círculo son trazadas por rayos para controlar la cantidad de aberración esférica y, adicionalmente, para evitar saltos de imagen. Las líneas de referencia en las partes de lente son imaginarias y solo para fines de referencia dimensional 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 realización, el diámetro es aproximadamente 6 mm. La parte central 6 tiene una potencia óptica por lo menos igual a la potencia de línea de 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 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 realización, la anchura está entre aproximadamente 1,8 y 2,1 mm. En una realización, las subzonas externas 7 tienen una potencia óptica de aproximadamente un 30 a un 60 % de la potencia añadida, es decir, aproximadamente un 30 - 60 % de la dioptría relativa de la parte central 8'.

La LIOSM como se muestra en la figuras 3 - 8 también se puede usar en conjunción con otro dispositivo óptico como un elemento difractivo óptico (DOE) 20. En una realización que se muestra en las figuras 12 - 16, se muestra una realización de este tipo. Esa LIOSM comprende una parte de lente rebajada 7 formada como una parte de semimeridiano refractiva con una primera potencia óptica. El ángulo comprendido total y de la parte rebajada puede estar entre aproximadamente 160 - 200 grados. En una realización, el ángulo encerrado está entre aproximadamente 175 - 195 grados. El elemento óptico difractivo 20 está superpuesto sobre la superficie de la parte rebajada 7. Este se muestra de una manera exagerada con características a mayor escala. En la práctica, las características del elemento óptico difractivo 20 pueden ser de un tamaño de alrededor de aproximadamente 0,5 - 2 micrómetros. En una realización, el elemento óptico difractivo 20 se puede proporcionar en la parte externa radial de la parte rebajada 7. Por lo tanto, 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.

La parte de lectura refractiva tal como se describe en las figuras 3 - 8 puede tener un elemento DOE adicional para corregir la aberración cromática o para mejorar adicionalmente la distancia y el rendimiento de lectura de la LIOSM. Esto se representa en las figuras 12 - 16. La parte de DOE 20 puede trazarse por rayos para controlar la cantidad de aberración esférica y, adicionalmente, para reducir el halo y el deslumbramiento. La zona de lente 3 también tiene un diámetro exterior de entre aproximadamente 5,5 y 7 mm. En una realización, este es aproximadamente 5,8 - 6,2 mm. La parte central 6 tiene una potencia óptica por lo menos igual a la potencia óptica de línea de base de la parte de lente restante 4. De manera deseable, la potencia óptica del sector de círculo interno 7 está entre un 0 % y un 100 % de la potencia añadida. El sector de círculo de semimeridiano introducido que se usa como la base refractiva para la DOE 20 tiene una potencia óptica de un 10 % y un 100 % de la potencia añadida. La parte rebajada tiene una anchura (desde el final de la zona central a la parte de combinación 11) entre 1,5 y 2,3 mm. En una realización, esta está entre 1,8 y 2,1 mm. La DOE 20 se puede configurar para la potencia de línea de base y la potencia intermedia añadida.

El elemento óptico difractivo (DOE) tiene una estructura tal como se describe en el documento EP1194797B1, que se incorpora en la presente descripción por referencia. Cualquier número de referencia en la presente descripción para una parte que se describa en el documento EP1194797B1 puede comenzar con una W, seguida por el número de referencia que se usa en el documento EP1194797B1, en el caso de que, de lo contrario, pudiera existir duda alguna acerca del número de referencia usado.

En una realización, unas zonas de transición o zonas de combinación 10 que delimitan la parte rebajada de las realizaciones que se describen en las figuras 3 - 16 pueden seguir una función coseno o una función sigmoidea. En una realización, las zonas de transición 10 siguen una función de transición optimizada que se describe en lo sucesivo. Las zonas de transición o de combinación 13 y 13' también pueden seguir una función de este tipo.

Ejemplos

Se presentan en lo sucesivo, para una LIO, diversas configuraciones de lente basándose en las figuras 3 - 8. Para diversos diámetros de pupila, se muestra el área cubierta en mm^2 por los diversos sectores (zonas o regiones). En diversas gráficas, se muestra la energía luminosa relativa que se determina de forma teórica basándose en el área cubierta por los diversos sectores (radio de sector central hace referencia al radio de la parte central). Estos cálculos a modo de ejemplo teórico se realizaron como si la lente tuviera un radio de curvatura nulo, es decir, una superficie plana. Este procedimiento 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 superficial de un área de transición usada en las realizaciones en lo sucesivo son tal como sigue.

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

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

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

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

5 Se descubrió que estos valores pueden determinarse también usando mediciones. Para ese fin, se puede usar un instrumento denominado PMTF. Este instrumento es facilitado por Lambda-X SA, Rue de l'industrie 37, 1400 Nivelles, Bélgica. En el procedimiento de medición, una LIO se coloca en un ojo de modelo ISO. Un dibujo esquemático del principio de PMFT se muestra en la figura 36, que muestra una fuente de luz 380, un objetivo 381 para proporcionar un área de luz espacialmente definida, una lente de colimación 382, una abertura 383, un conjunto de lentes L1 y L2, un modelo de ojo ISO 384 que mantiene la LIO en una cubeta, un microscopio 385 en una mesa de traslación 386 y una cámara de CCD 387 montada sobre dicho microscopio 385. En las mediciones que se usan en lo sucesivo, el modelo de ojo tiene una abertura de 4 mm de diámetro para la simulación de la pupila.

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

Las mediciones se realizan de acuerdo con el uso normal del PMFT. En este caso, en primer lugar se midió una LIO de referencia sin parte rebajada. En el plano focal la luz dentro de una imagen de la abertura se midió integrando la intensidad calibrada en el sensor de CCD. A continuación, se midió una LIO con una parte rebajada. Para ese fin, en primer lugar se ubican los planos focales diferentes de la LIO y el plano focal de la LIO de referencia. La intensidad se midió en los planos focales de las LIO. Por lo tanto, en el caso de una LIO con una región de distancia (la parte de lente principal) y una región de cerca en la parte rebajada, se midió la luz en los dos planos focales. A partir de las mediciones de luz en la cámara de CCD, la luz en los planos focales se añadió y se comparó con la luz en el plano focal de la LIO de referencia. Los valores medidos para la pérdida de luz se correspondieron muy bien con la pérdida de luz calculada de forma teórica.

25 Realización 1, figura 24

Ángulo de sector de distancia	182
Ángulo de sector de cerca	170
Transiciones de ángulo de sector	8 cada rebaje 4 grados de transición
Radio de sector central	0,57

Diámetro de la pupila	4,00	4,00	3,50	3,00	2,50	2,00	2,00	1,50	1,50	1,14	1,14
Área de pupila	12,57	9,62	7,07	4,91	3,14	1,77	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Área de sector de cerca	5,45	4,06	2,86	1,84	1,00	0,35	0,00	20 %	20 %	0,00	0 %
Área de sector de dist	6,86	5,37	4,08	2,99	2,09	1,40	1,02	79 %	79 %	1,02	100 %
Área de transición	0,26	0,19	0,13	0,09	0,05	0,02	0,00	0,9 %	0,9 %	0,00	0 %

Realización 2, figura 25

Ángulo de sector de distancia	170
Ángulo de sector de cerca	160
Transiciones de ángulo de sector	30 cada rebaje 15 grados de transición
Radio de sector central	0,57

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

ES 2 555 297 T3

La LIO también estaba disponible sin parte rebajada. Esta LIO se usó como lente de referencia. Esta tiene una dioptría de + 20 para la parte de lente principal. La lente de la invención fue adicionalmente idéntica, excepto por que esta tenía una parte rebajada con una dioptría relativa de + 3 con respecto a la parte de lente principal. Se usó el procedimiento de medición en lo que antecede usando el PMTF. En la tabla, se muestran resultados usando una fuente espacialmente "grande" circular de 600 μ m de diámetro y una fuente "pequeña" de 200 μ m de diámetro.

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 lejano	54 %	58 %	54 %	54 %	54 %	54 %
Luz en foco cercano	40 %	34 %	38 %	38 %	38 %	41 %
Área de transición	6 %	7 %	8 %	8 %	8 %	6 %

Los resultados medidos y los resultados calculados son, por lo tanto, comparables.

Realización 3, figura 26

Ángulo de sector de distancia	182
Ángulo de sector de cerca	170
Transiciones de ángulo de sector	8 cada rebaje 4 grados de transición
Radio de sector central	0,25

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

Realización 4, figura 23

Ángulo de sector de distancia 145
 Ángulo de sector de cerca 145
 Transiciones de ángulo de sector 70 cada rebaje 35 grados de transición
 Radio de sector central 1

Diámetro de pupila	4,00	4,00	3,50	3,50	3,00	3,00	2,50	2,50	2,00	2,00
Área de pupila	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 dist	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 %

Realización 5, figura 22

Ángulo de sector de distancia 145
 Ángulo de sector de cerca 145
 Transiciones de ángulo de sector 70 cada rebaje 35 grados de transición
 Radio de sector central 0,00

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 pupila	12,57		9,62		7,07		4,91		3,14		1,77		0,00	
Área de 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 de sector de dist	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 %

Para la realización 2, se hicieron mediciones en un banco óptico Optocraft de acuerdo con la norma ISO 11979-2. En las figuras 27 - 29 se muestran unas mediciones de dispositivos con una parte de lente principal con una potencia óptica de + 22 (la figura 27), + 29 (la figura 28) y + 15 (la figura 29). La parte rebajada tiene una parte de visión de cerca con una potencia óptica relativa (con respecto a la parte principal) de + 3,0. Todos los ejemplos se refieren a una LIO con una potencia óptica variable de la parte principal. En la figura 27, la mitad abajo a la derecha está rebajada. En la figura 28, la parte rebajada está en la parte izquierda superior, en la figura 29, el rebaje está en el lado izquierdo. La escala es Frente de onda / lambda = 0,54 micrómetros. 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 habitual se convirtió a una escala de grises.

5 Cuando se fabrica una LIOSM del tipo que se describe en el presente documento por rotación, la herramienta de retirada de material se mueve por lo general en paralelo con respecto al eje de rotación hacia fuera y hacia la pieza de trabajo de una manera sincronizada con el ángulo de rotación. De esta manera un sector de lectura de semimeridiano 7, 8', 20 puede crearse introducido o rebajado en la parte de lente principal 4. Cuando la transición 10 se hace desde la parte de lente principal 4 hasta la parte rebajada 7, 8, la herramienta y la pieza de trabajo o lente han de moverse la una hacia la otra. Cuando la transición 10 se hace fuera de la parte rebajada 7, 8 a la parte de lente principal 4, la herramienta y la lente han de moverse la una lejos de la otra. Cuando se fabrica de esta manera, una zona de transición 10, 13, 13' separa la parte o partes rebajadas de la parte de lente principal 4. Debería estar claro que las dimensiones de esta zona de transición deberían ser tan pequeñas como fuera posible. Se descubrió que se proporcionan los mejores resultados si las zonas de transición son tan pequeñas o estrechas y, por lo tanto, tan inclinadas como sea posible.

Para hacer la zona de transición menor, la herramienta de corte y la lente deberían moverse la una hacia la otra y la una lejos de la otra tan rápido como sea posible. Con frecuencia, la herramienta se moverá con respecto a la lente. Un desplazamiento rápido comporta que la herramienta debería moverse con la aceleración más rápida permitida por el fabricante de la herramienta de corte o de la que sea capaz la herramienta de corte. El procedimiento de la presente invención calcula el perfil de transición óptimo para mover la herramienta de corte de la posición 1 en reposo a la posición 2 en reposo. La posición 1 se corresponde con la posición z de la herramienta de corte cuando se está procesando la parte de distancia, y la posición 2 se corresponde con la posición de la herramienta de corte cuando se está procesando la parte de lectura o viceversa.

Si el movimiento de la herramienta de corte está limitado por una aceleración máxima especificada, entonces la transición más rápida entre dos posiciones se logra mediante la realización del desplazamiento de la herramienta rápida con esta aceleración máxima durante la totalidad de la transición. A partir de la mecánica básica se deduce que el desplazamiento s después de la aplicación de la aceleración máxima a_{max} durante un tiempo t_1 es:

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

La herramienta de corte tendrá ahora una velocidad de:

$$v = a_{max} t_1$$

Para llevar la herramienta rápida de nuevo a reposo $v = 0$, se aplica de nuevo la aceleración máxima en el sistema de herramienta rápida, pero ahora en el sentido opuesto. A partir de la mecánica básica se deduce que el tiempo que se necesita para parar la herramienta rápida t_2 es igual al tiempo que se necesitó para acelerar la herramienta rápida.

$$t_2 = t_1$$

Cuando el tiempo de transición es Δt , la 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. A partir de esto, el perfil optimizado que usa la aceleración máxima permitida para la herramienta viene dado por:

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

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

En las que Δt es el tiempo de transición.

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

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

El tiempo mínimo que se necesita para hacer un desplazamiento Δs es:

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

- 5 Este tiempo es el tiempo mínimo teórico para hacer un desplazamiento Δs , con la herramienta de corte que está limitada 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 .

10 Un hecho importante es que, en la práctica, para lograr una superficie fabricada por rotación de buena calidad, la velocidad de giro está limitada a un número mínimo de revoluciones por minuto. Si la velocidad de giro está limitada a un mínimo, un tiempo de transición menor dará como resultado una zona de transición menor. El tamaño angular ϕ en grados de la zona de transición en este caso puede calcularse por:

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

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

siendo N la velocidad de giro en revoluciones por segundo.

- 15 En general la diferencia de altura entre la parte de lectura y la parte de distancia disminuye al moverse desde la periferia hacia el centro de la zona óptica. Esto comporta que el tamaño angular de la zona de transición se puede hacer menor al acercarse al centro. De esta manera, se maximiza el área eficaz de las zonas ópticas. Otra ventaja importante es que la transición se hace tan inclinada como sea posible de esta manera. Una transición inclinada puede ser ventajosa, las reflexiones en la zona de transición están de una forma tal que estas son menores o no se perciben como una perturbación por el paciente. A partir de esto, se puede concluir que con el perfil de transición optimizado se puede conseguir un desplazamiento mayor para el mismo tamaño del perfil de transición. O, de lo contrario, cuando determinada cantidad de desplazamiento se necesita para cambiar de una parte de distancia a una parte de lectura con el perfil de transición optimizado, esto puede alcanzarse de una manera más rápida dando como resultado una zona de transición menor.
- 20
- 25 Una aplicación adicional para el perfil de transición optimizado que se describe es esta. Para hacer un desplazamiento Δs en un tiempo Δt de la manera más controlada y precisa puede ser ventajoso hacer la transición con la aceleración mínima. La aceleración mínima que se necesita para conseguir un desplazamiento Δs en un tiempo Δt puede calcularse con:

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

- 30 El perfil de transición viene dado de nuevo por:

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

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

- 35 En las que Δs es el tiempo de transición y a es la aceleración máxima o una aceleración especificada para la transición más controlada. La transición que se ha descrito en lo que antecede comienza con una pendiente horizontal y termina con una pendiente horizontal. Para el caso en el que ambas zonas de parte de cerca y de lectura son unas superficies de rotación simétricas, ambas zonas tienen unas pendientes horizontales en la dirección

tangencial o de la herramienta. En este caso, las zonas se pueden conectar por el perfil de transición de una manera suave sin discontinuidad alguna en la primera derivada.

En el caso de que una o ambas zonas tenga o tengan, por ejemplo, unas superficies simétricas no racionales, como una superficie tórica o una superficie esférica descentrada, la pendiente en general 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 nula en la dirección tangencial, la transición se puede hacer retirando alguna parte del principio o el final del perfil de transición de una forma tal que ambas zonas y la zona de transición se hacen tangentes en su punto de conexión. Véase la figura 17. Tampoco es difícil hacer el mismo análisis que en lo que antecede de una manera más general. Es decir, se descarta la suposición de que la herramienta está en reposo en la posición 1 y en la posición 2. En cambio, a la herramienta se le permite que empiece a una velocidad v_1 especificada antes de la transición y que permanezca a una velocidad v_2 después de la transición. Dando como resultado esto último un perfil de transición que hace opcional no empezar o finalizar con una pendiente horizontal.

Por supuesto, si se opta por ello, también es posible iniciar la transición sin que sea tangente con respecto a una o ambas zonas ópticas.

15 **Ejemplo 1**

Aceleración máxima para la herramienta de corte:

$$a_{\max} = 10 \frac{m}{s^2}$$

Velocidad de giro 1200 rev / min (20 rev / s) con un ángulo de transición de 20 grados.

$$\Delta t = \frac{1}{20} \frac{20}{360} = 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ s} \qquad \frac{\Delta t}{2} = 1,39 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Para $0 \leq t < 1,39 \cdot 10^{-3}$: $s(t) = 5 t^2$

Para $1,39 \cdot 10^{-3} \leq t < 2,78 \cdot 10^{-3}$:

$$s(t) = 9,66 \cdot 10^{-6} + 1,39 \cdot 10^{-3} (t - 1,39 \cdot 10^{-3}) - 5(t - 1,39 \cdot 10^{-3})^2$$

25 **Ejemplo 2**

Velocidad de giro $N = 15 \text{ rev / s}$. $\Delta s = 0,05 \text{ mm}$, $a_{\max} = 10 \text{ m / s}^2$

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}} = 0,0045 \text{ s}$$

$$\phi = N \cdot 360 \cdot 2 \sqrt{\frac{\Delta s}{a_{\max}}} = 15 * 360 * 0,0045 = 24 \text{ grados}$$

Es también posible hacer la transición usando otros perfiles menos óptimos. Por ejemplo, podría usarse un perfil de transición que se describe por la *función coseno*.

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

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:

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

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

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

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 que se describe en el presente documento.

5 Para fines de comparación, una transición de coseno se calcula con los mismos tiempo de transición y aceleración máxima que se usan en el ejemplo en lo que antecede con el perfil de transición optimizado (la figura 17).

La frecuencia angular ω puede calcularse a partir del tiempo de transición:

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

La amplitud máxima posible con una aceleración máxima $a_{\max} = 10 \text{ m / s}^2$ es

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

10

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

Otra función que se usa para definir una transición de este tipo es la función sigmoidea tal como se describe en los documentos WO9716760 y US6871953. La función sigmoidea se define como (la figura 18):

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

15

Si $y(t)$ es el desplazamiento como una función del tiempo t , entonces la aceleración en el perfil sigmoideo (la figura 19) viene dada 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

Esta 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 está restringida por los extremos en el perfil de aceleración, véase la figura 19.

Parte de lejos con radio R_d :

La función sigmoidea se puede

$$R_d := 10,0$$

$$z_d(r) := R_d - \sqrt{R_d^2 - r^2}$$

cambiar de escala y trasladarse para modelar la transición requerida. De la misma

manera que se muestra

$$R_r := 8,5$$

$$z_r(r) := R_r - \sqrt{R_r^2 - r^2}$$

con la transición de coseno, esto puede mostrar fácilmente que una transición que se

Diferencia sagital o diferencia de altura al moverse desde la parte de lectura a la parte de lejos, véase la figura 30:

$$\text{saggdiff}(r) := z(r) - z_d(r)$$

describe por una función sigmoidea es menos óptima. Esto es cuando se limita

Distancia radial s disponible para tomar el escalón de altura cuando la transición se realiza entre dos meridianos que están separados un ángulo α a una distancia r del centro óptico:

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

a una aceleración máxima

Perfil de transición en la primera mitad

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

durante la transición:

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

Debería ser igual a la mitad del escalón de altura

El tiempo que se necesita para un desplazamiento de herramienta requerido

es mayor dando como resultado una zona de transición más amplia.

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

$$a := \frac{\text{saggdiff}(r)}{\left(\frac{s(x)}{2} \right)^2}$$

$$a := \frac{4 \cdot \text{saggdiff}(r)}{s(x)^2}$$

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

5 Pendiente a medio camino del perfil de transición:

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

$$\text{pendiente} := a \cdot x$$

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

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

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

Véase la figura 31, que muestra una gráfica de la pendiente o primera derivada de la parte más inclinada de la parte de combinación como una función de la distancia radial desde el centro óptico de la lente oftálmica, para una zona de combinación entre dos líneas de semimeridiano que encierran un ángulo de 15 grados, y la figura 32, para una parte de combinación encerrada por dos semimeridianos que encierran un ángulo de 4 grados. En lo sucesivo, diversos valores se muestran en una tabla

5

Distancia	pendiente 15 grados	pendiente 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

La forma y la pendiente (la primera derivada) de la zona de combinación se pueden medir con una exactitud elevada, usando por ejemplo un analizador óptico de perfiles en 3D o Form talysurf, facilitado comercialmente por Taylor Hobson, Reino Unido. La figura 35 muestra un mapa superficial de una lente de acuerdo con la invención.

10 Se descubrió en ensayos clínicos que, con una pendiente inclinada y la elección cuidadosa de la parte central, el contraste de la lente aumenta. En un estudio clínico multicéntrico reciente realizado en Europa (datos de estudio de Pardubice en archivo), 25 sujetos con 49 ojos, 24 sujetos fueron sometidos a implante bilateral con la LIOSM de la invención. Estos sujetos representan una selección de muestra de la población de pacientes con catarata típica europea. La sensibilidad al contraste se midió bajo unas condiciones fotópicas con un instrumento CSV1000 de
 15 Vector Vision Inc, Greenville, Ohio, EE. UU. US5078486. En este estudio se encontraron los siguientes valores LogMar (Resolución angular media logarítmica), medidos con el CSV1000, para las 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

20 Se realizó una comparación de sensibilidad al contraste con los dos líderes de mercado en LIOM. La AcriSof ReSTOR SN60DD3 (Alcon) es una LIOM refractiva / difractiva y la ReZoom (Advanced Medical Optics) es una multifocal multizona refractiva con el objetivo de unos resultados visuales mejorados.

25 En un estudio reciente titulado "Multifocal Apodized Diffractive IOL versus Multifocal Refractive IOL" publicado en el documento *Journal Cataract Refract Surg* 2008; 34: 2036 - 2042 Q 2008 ASCRS y ESCRS, la sensibilidad al contraste se midió en 23 pacientes que tenían una implantación bilateral de la LIO AcriSof ReSTOR SN60D3 y 23
 30 pacientes que tenían una implantación bilateral de la LIO ReZoom. El número de sujetos en el estudio de los inventores de la presente invención fue 24 y, por lo tanto, directamente comparable con los resultados de este estudio. Este muestra una mejora de la sensibilidad al contraste media de por lo menos un 25 % en comparación con una lente refractiva concéntrica multifocal del estado de la técnica. La configuración de lente de la invención
 35 dará una sensibilidad al contraste media para ojos sanos (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 (Norma de población <http://www.vectorvision.com/html/educationCSV1000Norms.ftml>), el rendimiento del grupo de prueba antes de la cirugía (preop), y el rendimiento con una LIOM se indicó como LS 312-MF. Estos resultados se encontraron consistentes a 6 meses tras la operación, es decir, 6 meses después de la cirugía.

40 También será evidente que la descripción anterior y los dibujos se incluyen para ilustrar algunas realizaciones de la invención y no para limitar el ámbito de protección. Comenzando por la presente divulgación, serán evidentes a un experto en la materia muchas más realizaciones que están dentro del ámbito de protección y la esencia de la presente invención y que son combinaciones obvias de técnicas de la técnica anterior y la divulgación de la presente patente.

40

REIVINDICACIONES

1. Una lente intraocular (LIO) (1), que comprende una lente (3) con
 - una parte de lente principal (4) que tiene una superficie, teniendo dicha parte de lente principal (4) una potencia óptica de entre aproximadamente - 20 y aproximadamente + 35 dioptrías;
 - 5 - un centro óptico, y un eje óptico (R) a través de dicho centro óptico;
 - una parte rebajada (7, 8) que tiene una superficie que está rebajada con respecto a dicha superficie de dicha parte de lente principal (4), teniendo dicha parte rebajada (4) al menos un límite con dicha parte de lente principal, estando dicha parte rebajada (7, 8) situada a una distancia de menos de 2 mm de dicho centro óptico y comprendiendo una parte de cerca que tiene una dioptría relativa de aproximadamente + 1,0 a aproximadamente + 5,0 con respecto a la potencia óptica de dicha parte de lente principal (4),
- 10 formando dicho límite o límites de dicha parte de lente rebajada con dicha parte de lente principal una parte de combinación o partes de combinación (10, 11) formadas para refractar la luz lejos de dicho eje óptico cuando dicha LIO (1) está iluminada por medio de una lente de colimación y colocada en un ojo de modelo ISO que tiene una
 - 15 abertura de 4 mm de diámetro,
 - estando dicha parte rebajada en dos lados delimitada por unos semimeridianos que discurren desde dicho centro óptico, estando de este modo la parte rebajada formada como una zona de meridiano,
 - estando dichas partes de combinación en dichos dos lados dentro de unos semimeridianos que encierran un ángulo (γ) mayor de 1 grado y menor de 35 grados, y
 - 20 teniendo una forma de dichas partes de combinación una curva con forma de S que tiene en su parte más inclinada una pendiente o primera derivada en un intervalo central de la parte de combinación a 1,6 mm de dicho centro óptico de menos de 0,41.
- 25 2. La LIO de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dicha parte de combinación o partes de combinación (10, 11) tienen una curvatura que da como resultado una pérdida de luz, dentro de un círculo con un diámetro de 4 mm alrededor de dicho centro óptico, de menos de aproximadamente un 15 %, dicha pérdida de luz definida como la fracción de la cantidad de luz enfocada de la LIO (1) en comparación con la cantidad de luz enfocada de una LIO idéntica sin dicha parte rebajada (7, 8).
- 30 3. La LIO de acuerdo con la reivindicación 2, en la que dicha pérdida de luz está por debajo de aproximadamente un 10 %.
4. La LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha parte rebajada tiene un ángulo comprendido de aproximadamente 160 - 200 grados, en una realización de aproximadamente 175 - 195 grados.
- 35 5. La LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha parte rebajada está delimitada por dos semimeridianos y una línea de latitud concéntrica y a una distancia con respecto a dicha parte central.
6. La LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dichas dos partes de combinación (10) están cada una dentro de unos semimeridianos que encierran un ángulo (γ) de menos de 17 grados, en una realización dichos semimeridianos encierran un ángulo (γ) de menos de 15 grados, en una realización dichos semimeridianos encierran un ángulo (γ) de menos de 5 grados.
- 40 7. La LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la curva con forma de S tiene en su parte más inclinada una pendiente o primera derivada en un intervalo central de la parte de combinación a 1,6 mm de dicho centro óptico de más de 0,1.
8. La LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha curva con forma de S tiene en su parte más inclinada una pendiente o primera derivada en un intervalo central de la parte de combinación a 2,8 mm de dicho centro óptico de más de 0,2.
- 45 9. La LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que al menos una de dichas partes de combinación, en particular en al menos una parte de combinación de semimeridiano, tiene o tienen una curva con forma de S, que sigue o siguen una primera curva parabólica que discurre desde la superficie de parte de lente principal hacia la superficie de la parte rebajada, teniendo una parte de curva intermedia que conecta con dicha primera curva parabólica, y que continúa siguiendo una segunda curva parabólica que termina en la superficie rebajada.
- 50 10. La LIO de la reivindicación 9, en la que dicha parte de curva intermedia en la parte más inclinada tiene una primera derivada de al menos 0,05 a 0,4 mm de dicho centro óptico, en una realización al menos 0,1 a 0,8 mm, en una realización al menos 0,15 a 1,2 mm, en una realización al menos 0,2 a 1,6 mm, en una realización al menos 0,3 a 2,0 mm, en una realización al menos 0,4 a 2,4 mm, en una realización al menos 0,5 a 2,8 mm.
- 55 11. La LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, dicha parte de lente principal, dicha

5 parte rebajada y dichas partes de combinación situadas y formadas mutuamente para proporcionar una característica de LogCS bajo unas condiciones fotópicas de luz en un plazo de 6 meses tras la operación 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 realización en una frecuencia espacial (cpd) entre aproximadamente 6 y 18, su característica de LogCS bajo unas condiciones fotópicas de luz en un plazo de 6 meses tras la operación está por encima de la norma de población de 20 - 55 años.

12. Una LIO suplementaria para insertarse en el saco, el sulcus, como incrustación en la córnea o una lente de cámara anterior, que comprende la LIO de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha parte de lente principal tiene una potencia óptica de aproximadamente - 10 a + 5 dioptrías.

10

Fig 1

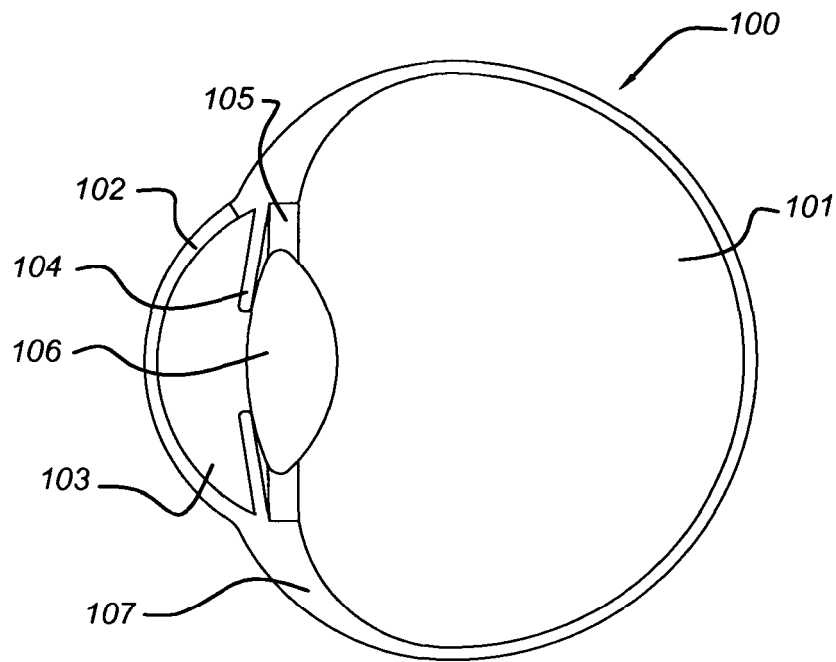


Fig 2

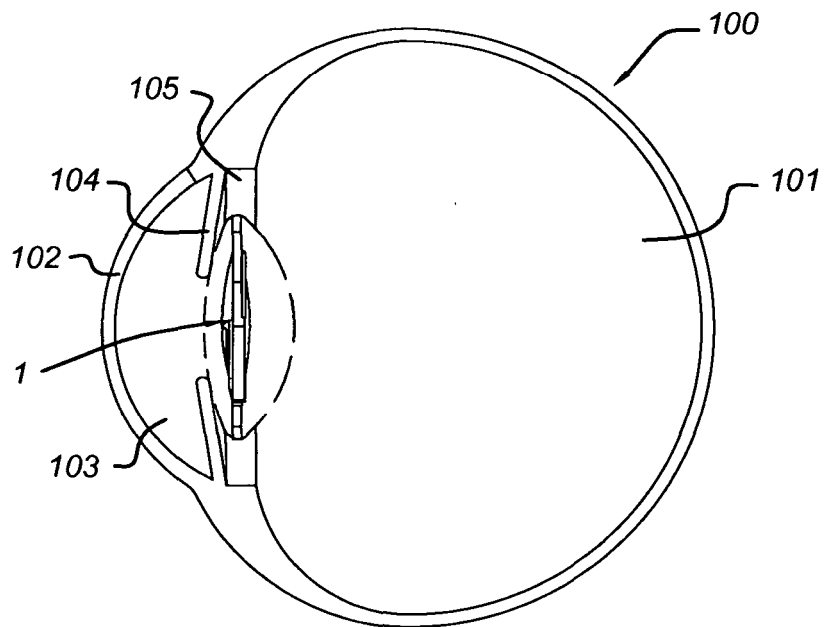


Fig 3

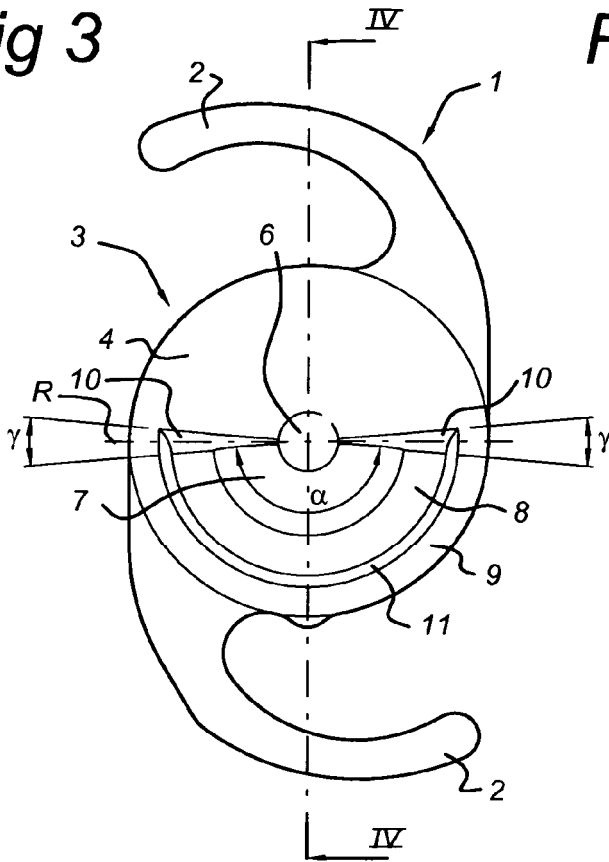


Fig 4

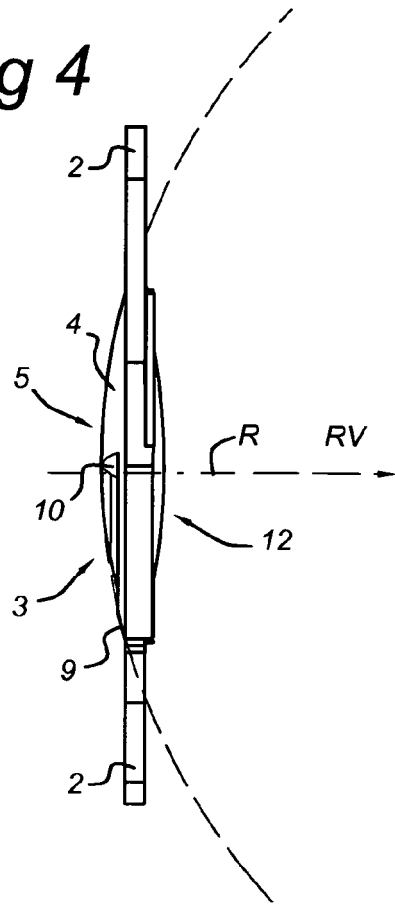


Fig 5

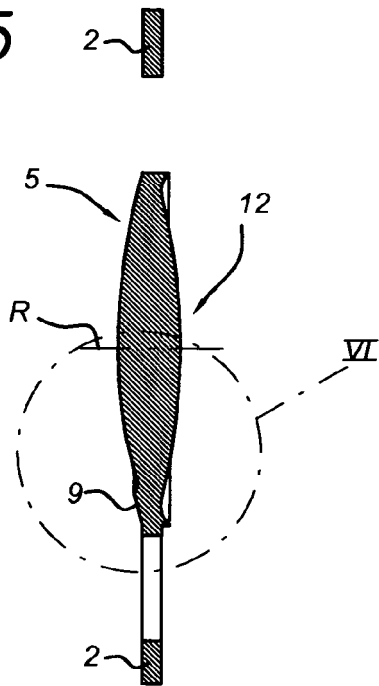


Fig 6

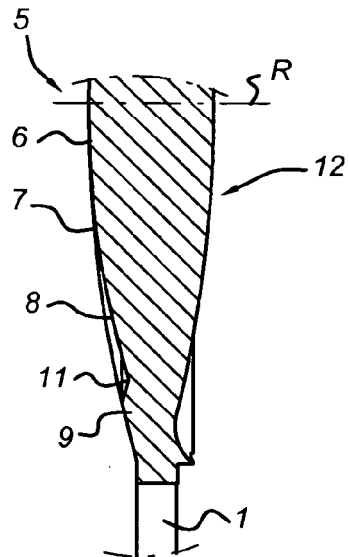


Fig 7

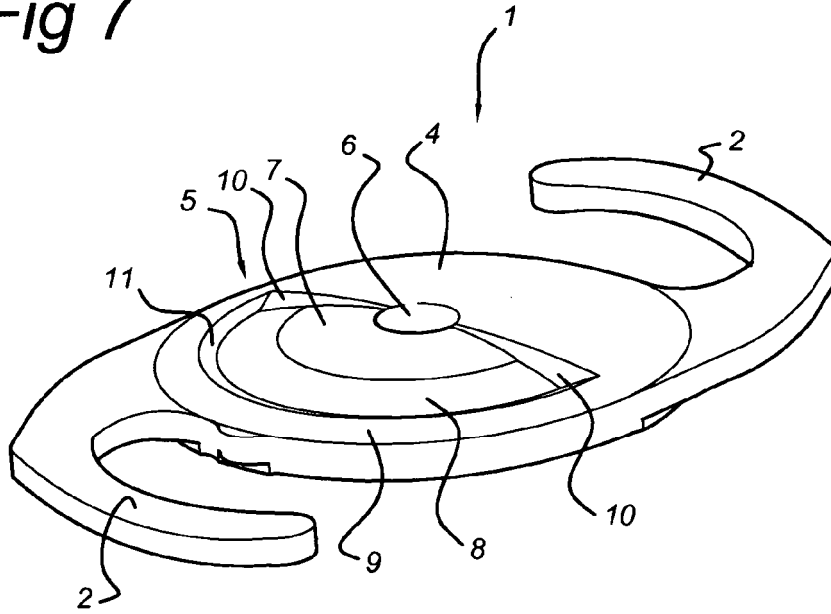


Fig 8

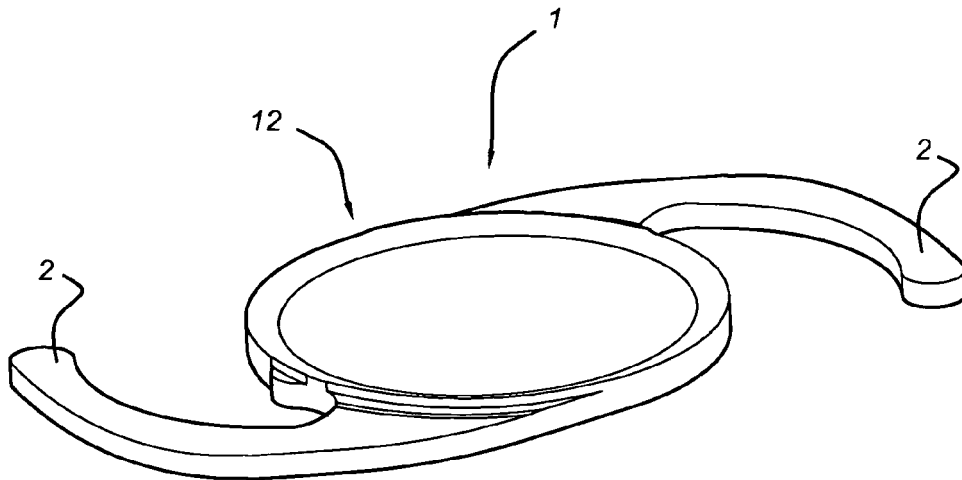


Fig 9

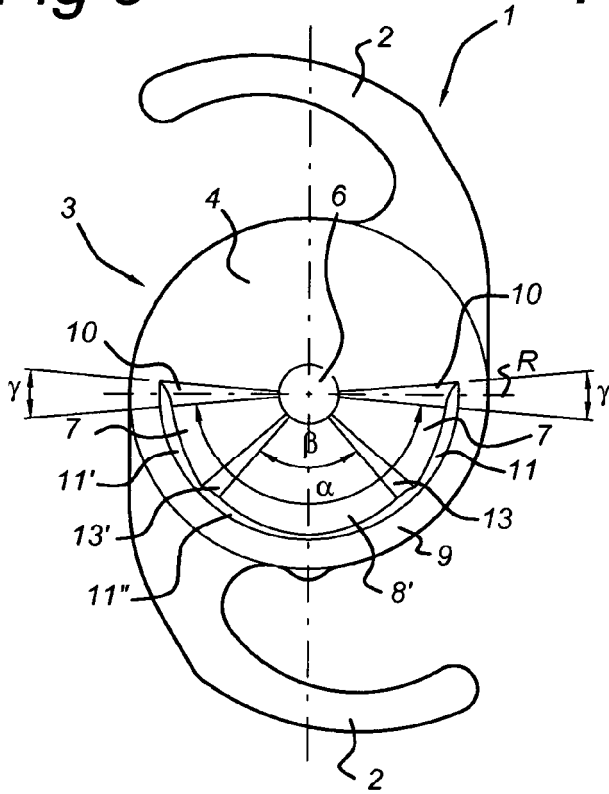


Fig 10

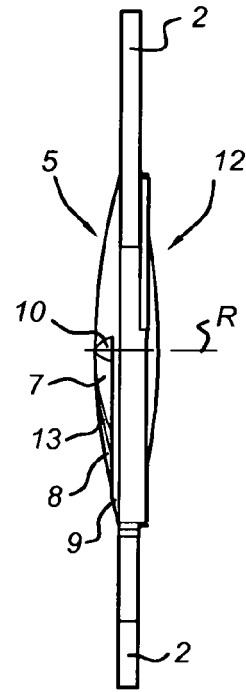


Fig 11

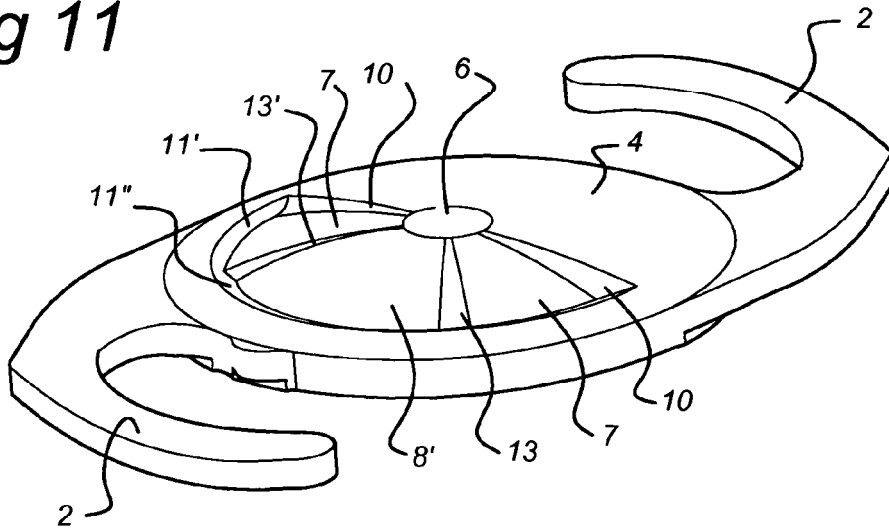


Fig 12

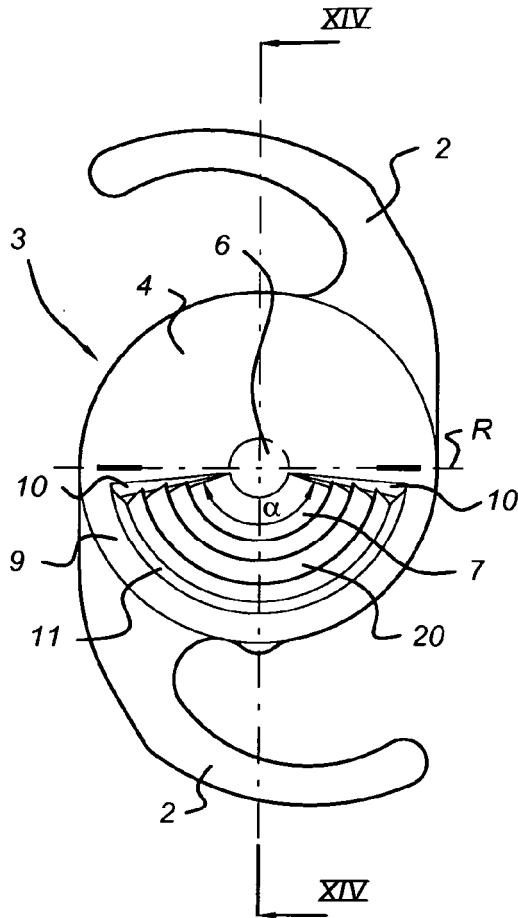


Fig 13

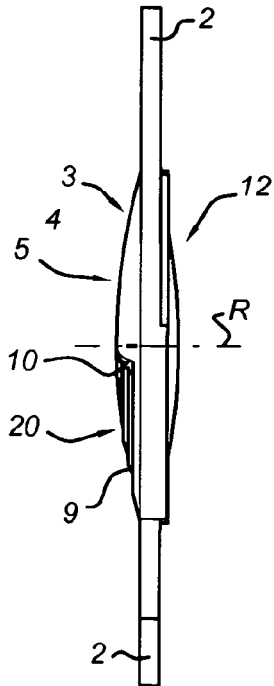


Fig 14

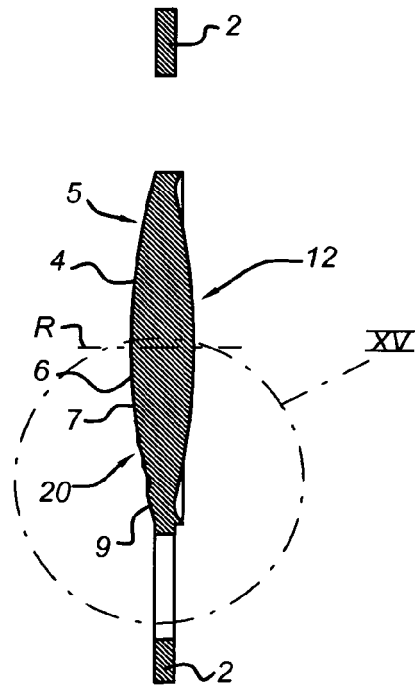


Fig 15

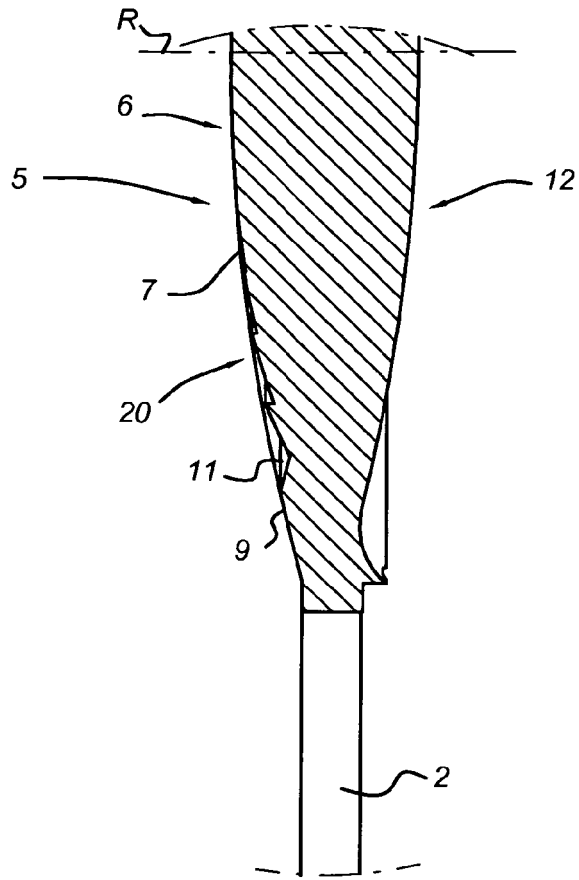


Fig 16

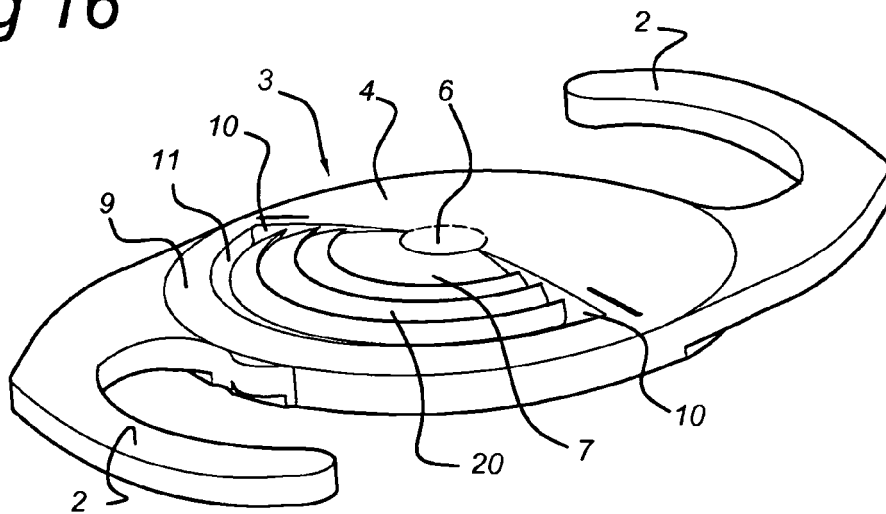


Fig 17

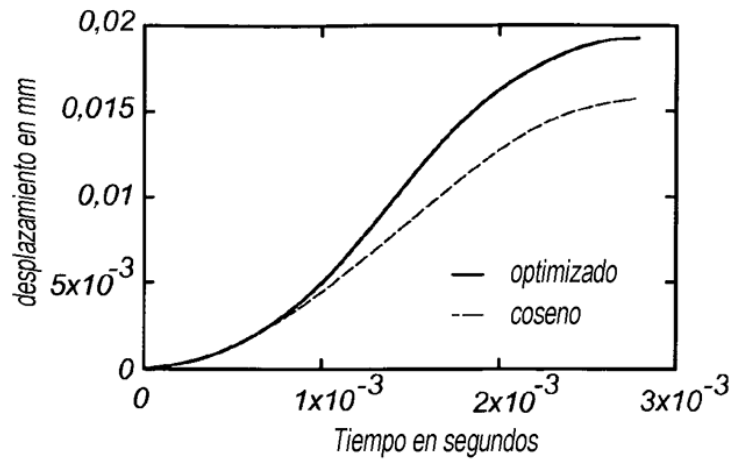


Fig 18

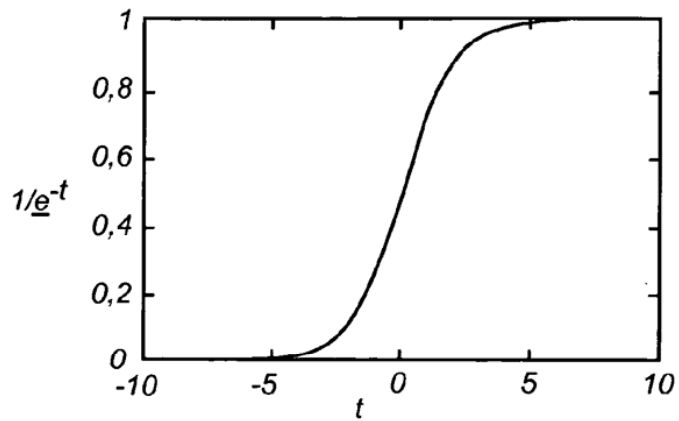
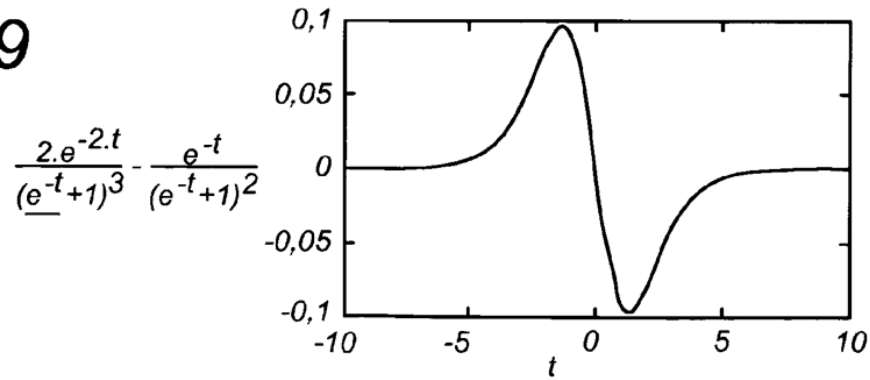


Fig 19



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

Fig 20

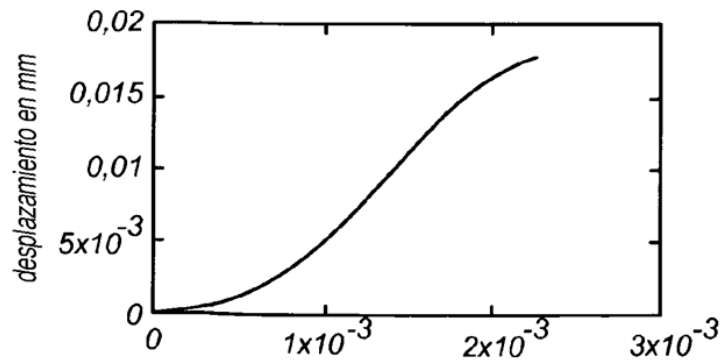


Fig 21

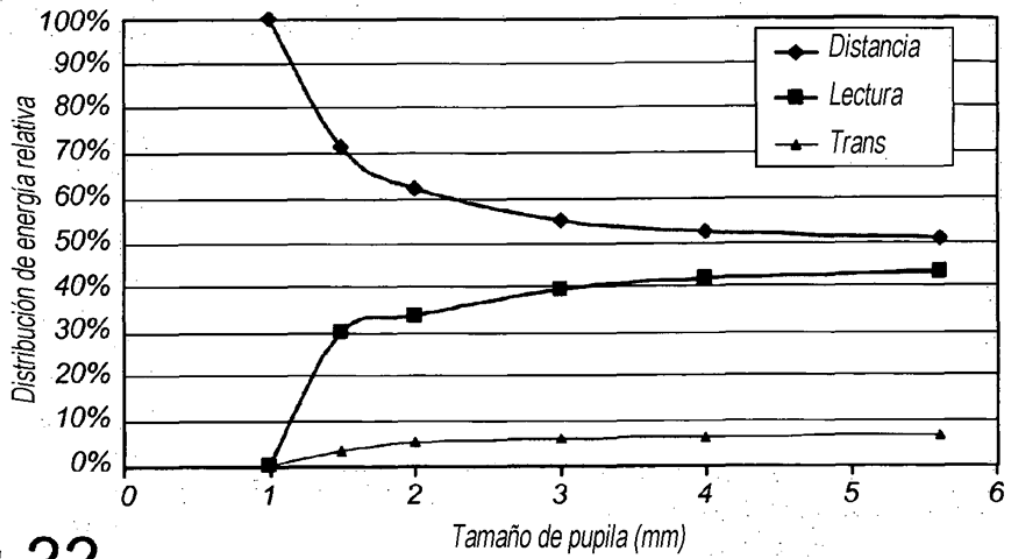


Fig 22

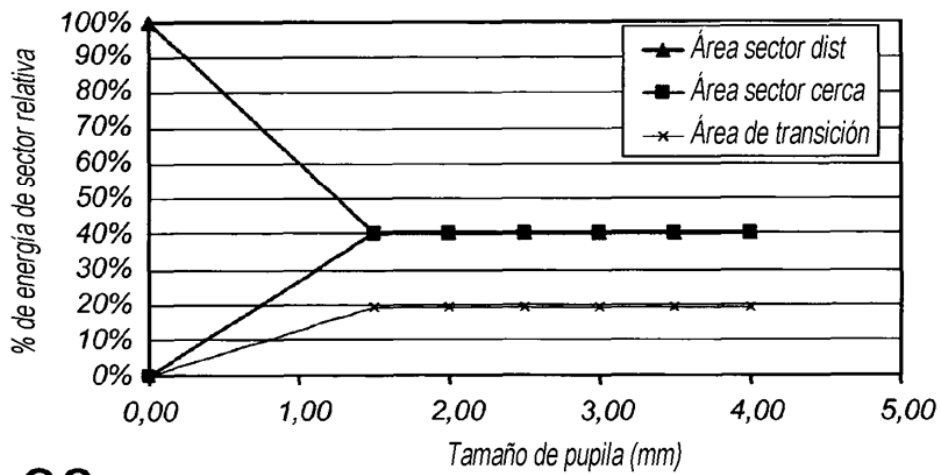


Fig 23

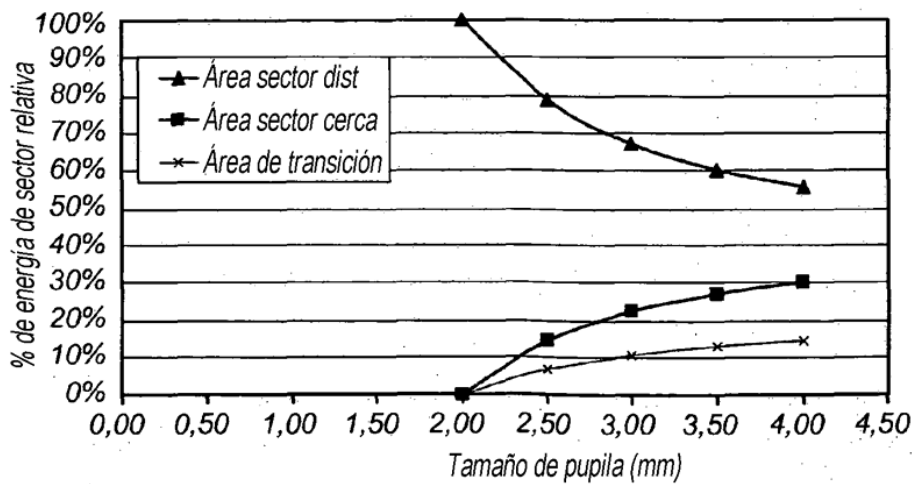


Fig 24

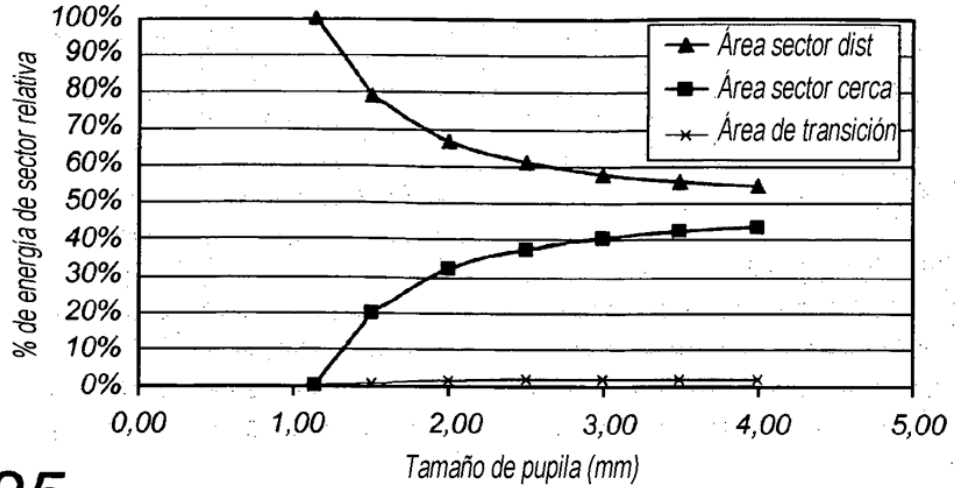


Fig 25

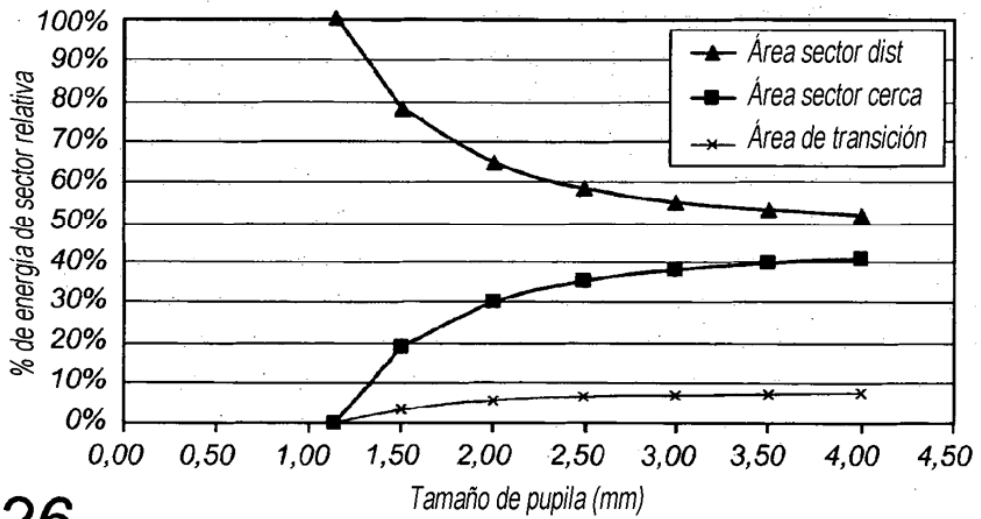


Fig 26

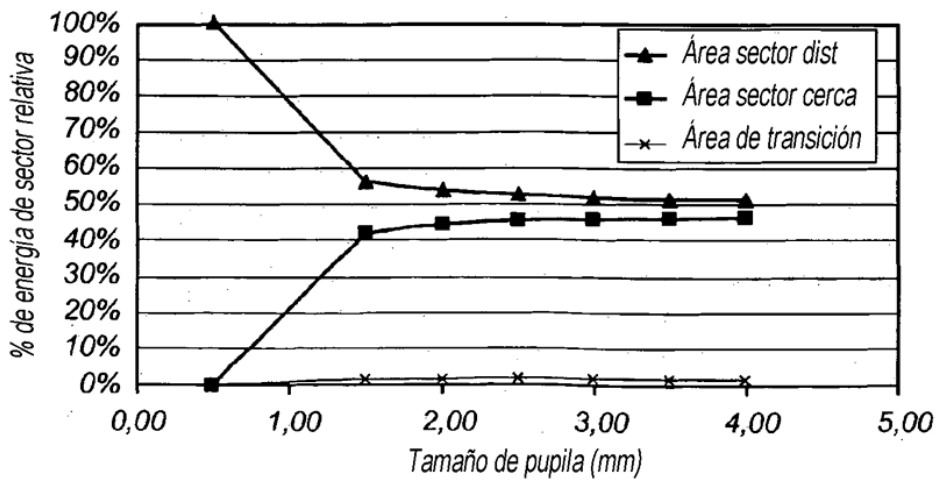


Fig 27

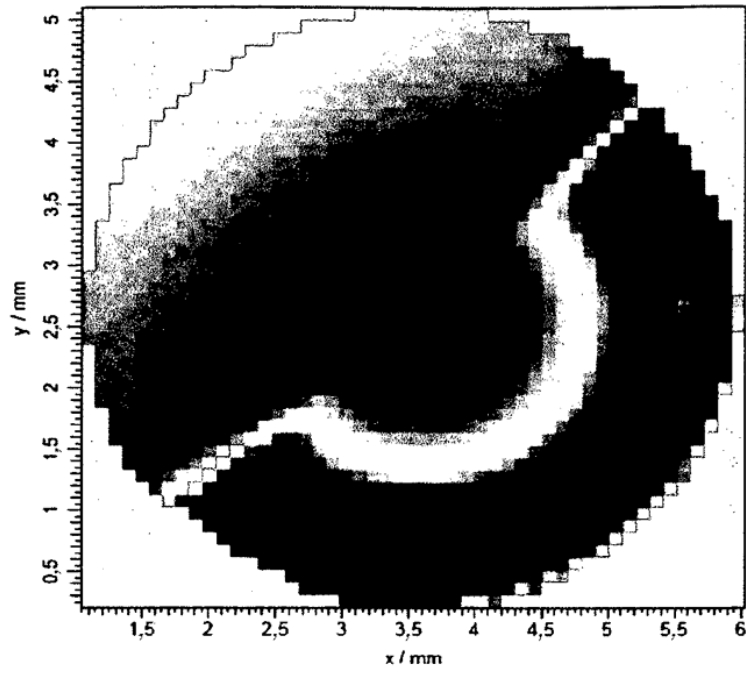


Fig 28

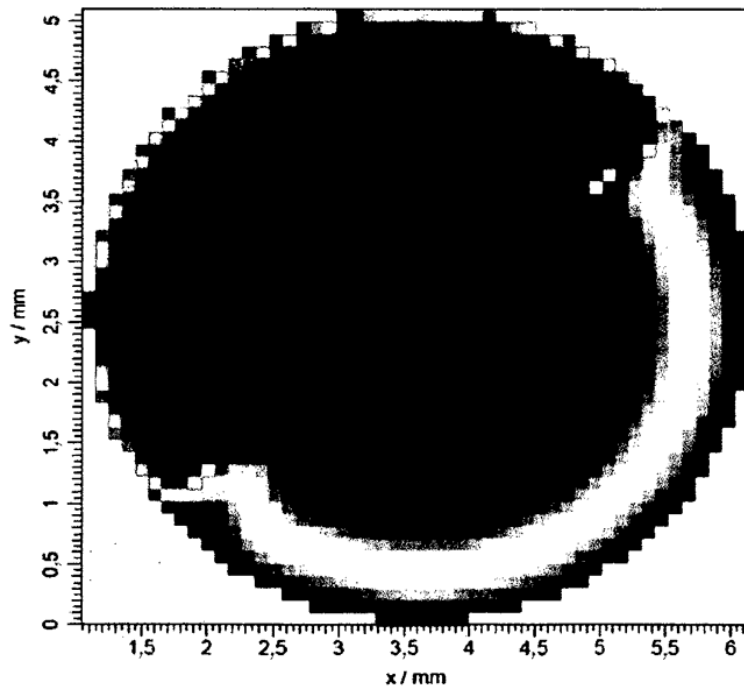


Fig 29

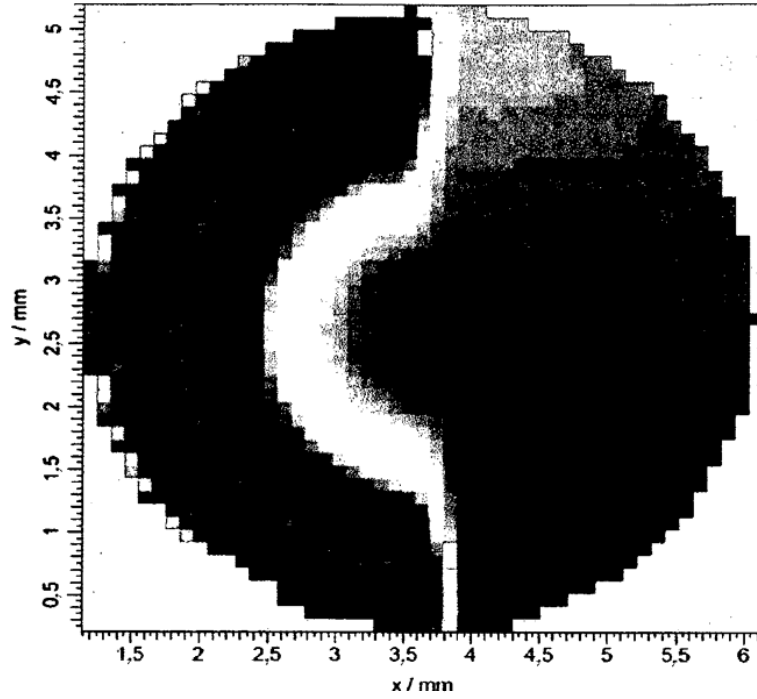


Fig 30

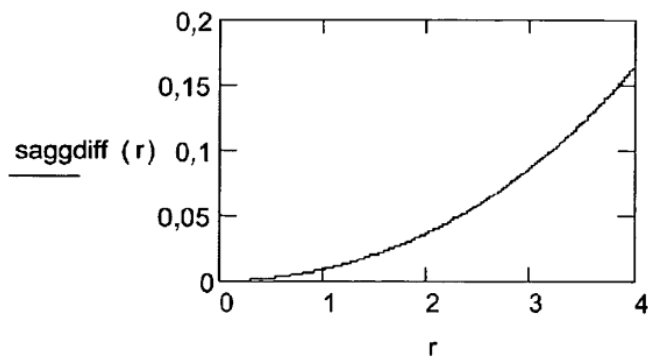


Fig 31

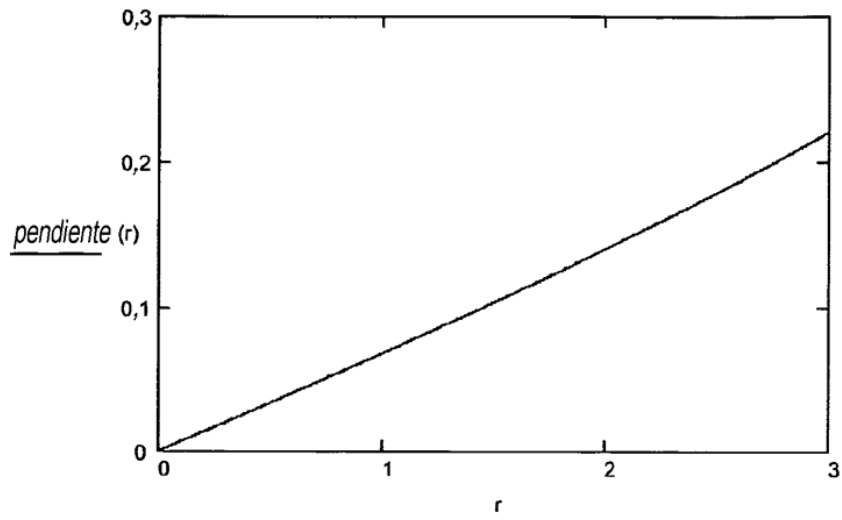


Fig 32

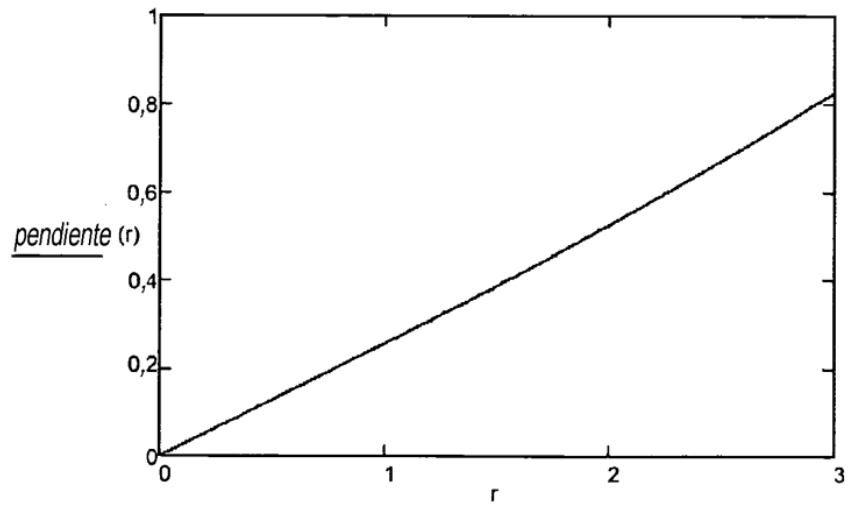


Fig 33

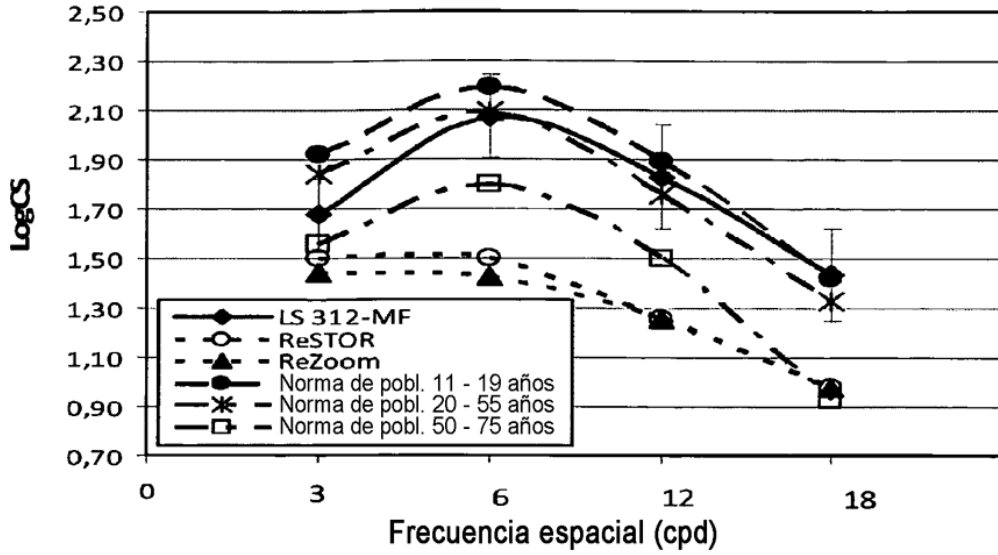


Fig 34

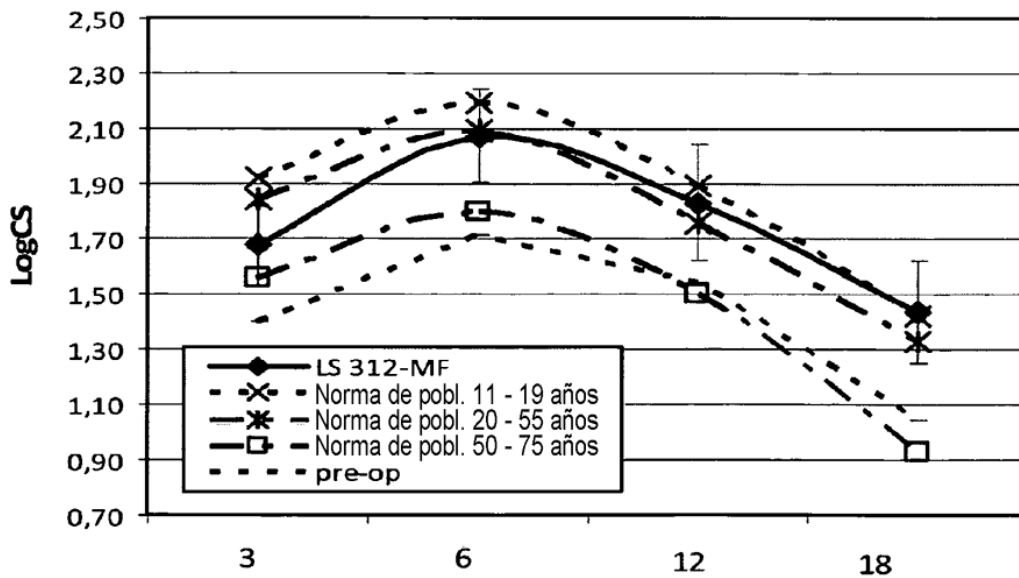


Fig 35

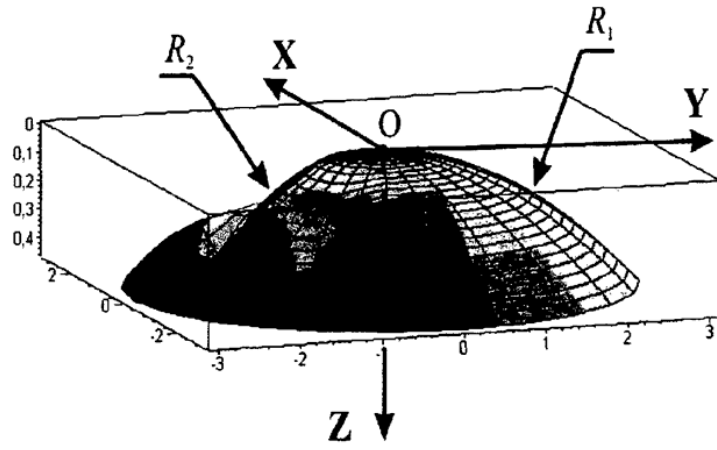


Fig 36

