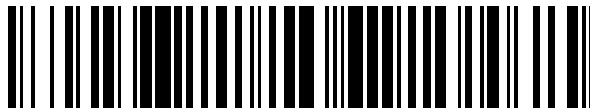


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 914 628**

51 Int. Cl.:

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: **19.01.2018 E 19189829 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2022 EP 3591458**

54 Título: **Procedimiento para el diseño de una lente oftálmica progresiva y su fabricación**

30 Prioridad:

20.01.2017 EP 17152384

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

14.06.2022

73 Titular/es:

**CARL ZEISS VISION INTERNATIONAL GMBH
(100.0%)
Turnstrasse 27
73430 Aalen, DE**

72 Inventor/es:

**KELCH, GERHARD;
MENKE, CHRISTOPH y
WIETSCHORKE, HELMUT**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 914 628 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

Procedimiento para el diseño de una lente oftálmica progresiva y su fabricación

5 La invención se refiere a un procedimiento implementado por ordenador para el diseño de una lente oftálmica progresiva según el preámbulo de la reivindicación 1, así como a un procedimiento para la fabricación de una lente oftálmica progresiva según la reivindicación 7, así como a un programa informático según la reivindicación 5 y a un soporte legible por ordenador según la reivindicación 6.

10 Las lentes oftálmicas progresivas se conocen y utilizan en la óptica de gafas desde hace décadas. Al igual que las lentes multifocales (generalmente bifocales y trifocales), éstas proporcionan a las personas con presbicia (prébitas) un efecto óptico adicional en la parte inferior de la lente para ver objetos cercanos, por ejemplo, al leer. Dicho efecto es necesario, dado que, con el paso de los años, el cristalino del ojo pierde progresivamente su capacidad de enfocar objetos cercanos. En comparación con estas lentes multifocales, las lentes progresivas ofrecen la ventaja de proporcionar un aumento continuo del efecto óptico desde la parte de visión lejana hasta la parte de visión cercana, por lo que se garantiza una visión nítida no sólo de lejos y de cerca, sino también en todas las distancias intermedias.

15 Según el apartado 14.1.1 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, la parte de visión lejana es la parte de una lente oftálmica multifocal o progresiva que tiene el efecto dióptrico para la visión de lejos. De forma correspondiente, la parte de visión cercana, según el apartado 14.1.3 de esta norma, es la parte de una lente oftálmica multifocal o progresiva que presenta el efecto dióptrico para la visión de cerca.

20 Hasta ahora, las lentes oftálmicas progresivas se fabricaban normalmente de un material con un índice de refracción constante y uniforme. Esto significa que el efecto dióptrico de la lente está determinado exclusivamente por la forma correspondiente de las dos superficies de la lente que limitan con el aire (superficie delantera o superficie del lado del objeto, así como superficie trasera o superficie del lado del ojo conforme a las definiciones proporcionadas en los apartados 5.8 y 5.9 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10). Según la definición del apartado 9.3 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, por efecto dióptrico se entiende el término genérico para los efectos de enfoque y prismáticos de una lente oftálmica.

25 Para generar el aumento continuo del efecto de enfoque en una lente oftálmica progresiva de un material con un índice de refracción constante uniforme, debe haber un cambio continuo correspondiente de la curvatura de la superficie en al menos una de las dos superficies de lente, como también se refleja en el apartado 8.3.5 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10. Este apartado define el término "lente oftálmica progresiva" como "una lente con al menos una superficie progresiva y con un efecto (positivo) creciente cuando el usuario de las gafas mira hacia abajo". De acuerdo con el apartado 7.7, una superficie progresiva es una superficie rotacionalmente no simétrica con una variación continua de la curvatura a lo largo de toda la superficie progresiva o a lo largo de una parte de la misma que sirve generalmente para proporcionar una ampliación cercana creciente o un efecto degresivo.

35 El documento WO 89/04986 A1 revela en primer lugar unas lentes oftálmicas progresivas (en este documento se utiliza la expresión "lentes progresivas") del tipo antes descrito. Del documento se deduce en la página 1, párrafos 2 y 3, que "el proceso de fabricación y especialmente el pulido" de las superficies progresivas de las lentes oftálmicas progresivas es "complicado" debido a su "gran desviación de la forma esférica" y al hecho de que la superficie fabricada difiere en gran medida de la forma teórica calculada. "Además" no era "posible (al menos con una superficie progresiva) mantener a un nivel reducido las aberraciones y especialmente el astigmatismo y la distorsión en toda la lente".

40 El documento WO 89/04986 A1 indica además en la página 2 que, aunque se conocen lentes oftálmicas con un índice de refracción variable, la realización de lentes oftálmicas progresivas mediante la sustitución del complicado diseño de la superficie progresiva por un índice de refracción variable ha fracasado en el pasado probablemente como consecuencia de su previsible función de índice de refracción igualmente complicada.

45 El documento WO 89/04986 A1 afirma lograr una "fabricación simplificada con propiedades de reproducción comparables" "si [...] un índice de refracción variable del material de lente, al menos a lo largo de la línea de visión principal en la parte intermedia, contribuye al menos parcialmente al aumento del índice de refracción". Sin embargo, esta posibilidad se lleva a cabo con el objetivo de "reducir [de que se reduzcan] las diferencias de los radios de curvatura entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana, de manera que, por una parte, se reduzca el mecanizado de una pieza en bruto con superficies límite esféricas para la fabricación de una superficie progresiva" y "por otra parte [...] se simplifique el proceso de pulido que, en el caso de las lentes oftálmicas progresivas según el estado de la técnica, corresponde fundamentalmente al de una lente esférica, mejorándose [mejorando] así el resultado del proceso de pulido". En la fecha de solicitud del documento WO 89/04986 A1 era práctica común utilizar herramientas de pulido de gran superficie, cuyas superficies de pulido eran aproximadamente del tamaño de la superficie de lente progresiva a pulir.

55 El documento continúa en la página 5, línea 15 y siguientes: Si el astigmatismo a lo largo del meridiano principal también se reduce adicionalmente mediante la variación del índice de refracción, esto significa que la restricción en el diseño de la lente oftálmica, de que el astigmatismo de la superficie a lo largo del meridiano principal o de la línea de

visión principal debe ser reducido, también deja de aplicarse, de manera que la [...] lente oftálmica no esté sujeta al teorema de Minkwitz, pudiendo diseñarse la lente oftálmica de forma mucho más favorable desde otros puntos de vista.

5 El objetivo declarado de este documento consiste en obtener superficies que se puedan pulir fácilmente, configurándose la variación del índice de refracción de forma correspondientemente complicada. En la página 6, en el penúltimo párrafo, se indica explícitamente: "En casos extremos es posible incluso que ambas superficies de la lente oftálmica progresiva sean superficies esféricas. Sin embargo, también es posible naturalmente utilizar superficies asféricas rotacionalmente simétricas". Por otra parte, el documento no expresa ninguna limitación con respecto a la complejidad de la función del índice de refracción que, según la última frase de la página 6, puede "describirse, por ejemplo, por medio de funciones spline".

10 El documento revela dos ejemplos de realización. En el segundo ejemplo de realización, "tanto la superficie delantera, como también la superficie del lado del ojo [son] [...] superficies esféricas" (véase *ibid.*, pág. 11, última frase). En el primer ejemplo de realización, la superficie delantera tiene un meridiano principal en forma de un círculo (compárese *ibid.* pág. 12, líneas 6-13) y perpendicularmente a la misma la forma de secciones cónicas (compárese *ibid.*, pág. 11, líneas 6-14). En el primer ejemplo de realización, la parte trasera es esférica.

En relación con el primer ejemplo de realización, el documento "señala [...] expresamente [...] que durante la optimización no se tuvo en cuenta la corrección de las aberraciones y que, sin embargo, se obtuvieron unas gafas con unas muy buenas propiedades de imagen en las zonas laterales. Mediante una mayor optimización de la función de índice se obtiene una mejora de las propiedades de imagen en las zonas laterales del meridiano principal".

20 El documento WO 99/13361 A1 describe un así llamado objeto de lente "MIV" que debe presentar todas las características funcionales de las lentes progresivas, concretamente una parte de visión lejana, una parte de visión cercana y una zona de progresión, pero cuyas zonas periféricas deben estar libres de aberraciones astigmáticas. Este documento describe que un objeto de lente de este tipo puede presentar una superficie delantera esférica y una superficie trasera esférica. El objeto de lente debe presentar una zona de progresión con un índice de refracción que aumente de forma continua desde la parte de visión lejana hasta la parte de visión cercana. No obstante, con una realización como ésta, normalmente no se pueden realizar todas las adiciones deseadas. Por este motivo, el documento establece: "Si se desea, se puede puentear el rango de adiciones, si esto es imposible debido al índice de refracción variable único, también mediante la fabricación de las lentes con un bloque de material en bruto con un índice de refracción variable, como se ha descrito antes, y mediante la formación de curvas con una geometría variable como las de las lentes progresivas convencionales, resultando así un efecto mucho mayor en comparación con estas últimas, dado que la lente con un índice de refracción variable proporciona en las diferentes zonas la adición deseada utilizando curvas mucho menos diferenciadas entre el efecto de la parte de visión lejana y el efecto de la parte de visión cercana con una reducción de la superficie de aberración y un aumento de la superficie visual útil."

35 El documento US 2010/238400 A1 describe respectivamente unas lentes oftálmicas progresivas que se componen de varias capas. Al menos una de las capas puede presentar un índice de refracción variable que se describe en relación con dos meridianos que se desarrollan ortogonalmente uno respecto a otro. Además, al menos una de las superficies de una de las capas puede presentar una forma superficial progresiva. Se describe que el desarrollo del índice de refracción en la dirección horizontal puede utilizarse para corregir completamente la variación del índice de refracción debida a la geometría de las superficies.

40 Yuki Shitanoki et al: "Application of Graded-Index for Astigmatism Reduction in Progressive Addition Lens", Applied Physics Express, Vol. 2, 1 de marzo de 2009, página 032401 describe, mediante la comparación de dos lentes oftálmicas progresivas fundidas con el mismo molde, que el astigmatismo puede reducirse en una lente oftálmica progresiva con un gradiente de índice de refracción en comparación con una lente oftálmica progresiva sin un gradiente de índice de refracción.

45 Las lentes oftálmicas se someten regularmente a uno o varios procesos de acabado. Especialmente se aplican capas funcionales a uno o ambos lados. Las capas funcionales de este tipo son capas que dotan a las lentes oftálmicas de unas propiedades predeterminadas y ventajosas para el usuario de las gafas que no tendrían las lentes oftálmicas únicamente como consecuencia de las propiedades del material base o de soporte, al que se aplican, en su caso, las capas funcionales, y como consecuencia de la conformación. Las propiedades ventajosas como éstas son, además de las propiedades ópticas como, por ejemplo, el tratamiento antirreflectante, la vaporización de aluminio, la polarización de la luz, la coloración, el autotintado, etc., también las propiedades mecánicas como el endurecimiento, la reducción de la adherencia de la suciedad o el empañamiento, etc., y/o las propiedades eléctricas como el apantallamiento de la radiación electromagnética, la conducción de la corriente eléctrica, etc., y/o otras propiedades físicas o químicas. Se pueden encontrar ejemplos de recubrimientos funcionales, por ejemplo, en los documentos WO 10/109154 A1, WO 01/55752 A1 y DE 10 2008 041 869 A1. Estas capas funcionales no influyen, o lo hacen de forma insignificante, en las propiedades dióptricas de la lente oftálmica que se analizan en el contexto de la presente solicitud de patente. Por el contrario, las capas descritas en el documento US 2010/238400 A1 tienen una influencia significativa en el efecto dióptrico de la lente oftálmica progresiva.

El documento EP 2 177 943 A1 describe un procedimiento para la optimización de un sistema óptico como, por ejemplo, una lente oftálmica, con la ayuda de una función de coste. La lente oftálmica está definida por los coeficientes de las ecuaciones de todas sus superficies, el índice de refracción de la lente y la posición de cada superficie relativamente entre sí (desplazamiento, giro e inclinación). En una forma de realización, se modifican al menos los coeficientes de las ecuaciones de dos superficies ópticas de un sistema óptico de trabajo, a fin de obtener el sistema óptico.

Del documento se desprende que, en general, resulta complicado optimizar una lente teniendo en cuenta una pluralidad de criterios de distinta naturaleza si sólo se considera variable la ecuación de una superficie. Esta forma de realización permite a los diseñadores ópticos tener en cuenta un mayor número de criterios en el proceso de optimización y allana el camino para la mejora del rendimiento geométrico del sistema óptico, proporcionándose una mejor respuesta a las necesidades fisiológicas de los usuarios de gafas. El beneficio para el usuario mejora cuando se optimizan simultáneamente varias superficies del sistema óptico.

En otra forma de realización, en la que el sistema óptico a optimizar comprende al menos dos superficies ópticas, la modificación del sistema de trabajo óptico se lleva a cabo para modificar al menos el índice del sistema de trabajo óptico. Es posible fabricar una lente a partir de un material no homogéneo en el que existe un gradiente en el índice de refracción (conocido como lente GRIN). Por ejemplo, la distribución del índice optimizado puede ser axial o radial y/o depender de la longitud de onda.

El documento EP 0 347 917 A1 describe una lente oftálmica con una superficie delantera y con una superficie límite en el lado del ojo, así como con un índice de refracción variable que contribuye a la corrección de las aberraciones. La lente oftálmica se caracteriza por al menos un conjunto de superficies de nivel con un índice de refracción constante que presentan respectivamente la misma distancia en todos los puntos en la dirección de sus normales de superficie y que se cruzan o cuya extensión se cruza con el eje que une los vértices de lente de la superficie delantera y de la superficie del lado del ojo.

El documento explica que la variación del índice de refracción se utiliza regularmente para la reducción del error de imagen de las lentes monofocales con un diseño de superficie especialmente elegido y/o para la reducción del grosor del centro. No obstante, también es posible utilizar el gradiente para la generación de un efecto astigmático y/o progresivo, no contribuyendo el diseño de superficie en absoluto o sólo parcialmente al efecto astigmático y/o progresivo.

Del documento WO 2011/093929 A1 se deduce una lente oftálmica progresiva con dos superficies progresivas, en la que la superficie trasera se configura de manera que el mínimo del valor de la curvatura media se encuentre en el canal de progresión.

Ahora se considera que el objeto de la invención consiste en poner a disposición un procedimiento con el que se pueda diseñar y fabricar una lente oftálmica progresiva con unas propiedades de imagen ópticas mejoradas.

Esta tarea se resuelve mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1.

Las realizaciones ventajosas y las variantes perfeccionadas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Mientras que el documento WO 89/04986 A1 propone reducir la complejidad de la geometría de superficie necesaria mediante la implantación de una distribución del índice de refracción complicada pero, en contra de las hipótesis anteriores, técnicamente factible, a fin de simplificar su fabricación (véase *ibid.*, pág. 2, párrafo 4, última línea; pág. 4, primer párrafo, última frase; pág. 5, primer párrafo; pág. 5, segundo párrafo; pág. 5, último párrafo, última frase; pág. 6, penúltimo párrafo) y, de este modo, reducir las grandes desviaciones de la superficie fabricada con respecto a la superficie calculada que perjudican las propiedades ópticas (véase *ibid.*, pág. 1, párrafo 3), los inventores han comprobado que este enfoque no conduce necesariamente a lentes oftálmicas progresivas con mejores propiedades ópticas para el usuario de las gafas. Los inventores han observado que depende de la interacción entre el grado de complejidad de la geometría de la superficie progresiva y el grado de complejidad de la distribución del índice de refracción.

Por consiguiente, éstos proponen, desviándose de la solución descrita en el documento WO 89/04986 A1, un procedimiento implementado por ordenador para el diseño de una lente oftálmica progresiva con una superficie delantera y con una superficie trasera y con un índice de refracción espacialmente variable, en el que la superficie delantera o la superficie trasera o ambas superficies se configuran como una superficie progresiva, y en forma de un procedimiento de cálculo de haz. Por medio del procedimiento de cálculo de haz se calculan las propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva en una pluralidad de puntos de evaluación por los que los rayos visuales atraviesan la lente oftálmica progresiva. En este procedimiento de cálculo de haz se determina al menos una propiedad óptica teórica para la lente oftálmica progresiva en el punto de evaluación respectivo. En primer lugar se establece un diseño para la lente oftálmica progresiva, comprendiendo este diseño una representación de una geometría de superficie local de la superficie progresiva y un índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la respectiva trayectoria de los rayos visuales a través de los puntos de evaluación. El diseño de la lente oftálmica progresiva se

modifica con respecto a una aproximación a la menos una propiedad óptica teórica de la lente oftálmica progresiva. Según la invención, la modificación comprende no sólo una modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva, sino también del índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la respectiva trayectoria de los rayos visuales a través de los puntos de evaluación, comprendiendo la al menos una propiedad óptica teórica un astigmatismo residual teórico de la lente oftálmica progresiva.

Por regla general, la superficie opuesta a la superficie progresiva modificada es fija. Ésta presenta en general una geometría de superficie simple como, por ejemplo, una geometría esférica, asférica de simetría rotativa o tórica. En el caso de una superficie tórica, la geometría de superficie y la posición axial suelen elegirse de manera que compense (aparte del astigmatismo residual no deseado) el déficit refractivo astigmático del ojo del usuario de las gafas progresivas. La superficie opuesta a la superficie progresiva modificada también puede ser una superficie progresiva, en su caso también una superficie de forma libre, con una geometría de superficie fija. Ésta puede contribuir al aumento necesario del efecto para proporcionar la adición. La superficie progresiva modificada también puede contribuir al aumento necesario del efecto para proporcionar la adición. También es posible modificar las dos superficies, concretamente la superficie delantera y la superficie trasera, junto con la distribución del índice de refracción para la aproximación a la distribución del astigmatismo residual teórico. Se conocen procedimientos de cálculo de haz para su uso en el diseño de lentes oftálmicas progresivas. Se hace referencia especialmente a Werner Köppen: Concepción y desarrollo de gafas progresivas, en la Revista Óptica Alemana DOZ 10/95, págs. 42-46, así como al documento EP 2 115 527 B1 y a las memorias impresas citadas en el mismo. También se conoce el cálculo de distribuciones optimizadas del índice de refracción en función del lugar mediante programas de cálculo ópticos como, por ejemplo, el programa de cálculo ZEMAX de la empresa Zemax, LLC. Se hace referencia, por ejemplo, a su página web en <http://www.zemax.com/>.

La determinación de las propiedades teóricas para una lente oftálmica se refiere al así llamado diseño de una lente oftálmica. Normalmente, un diseño de una lente oftálmica comprende la distribución de los valores teóricos para una o varias aberraciones que se incluyen preferiblemente en la optimización de la lente oftálmica como valores objetivo o en la determinación de los valores objetivo. Especialmente, un diseño de lente se caracteriza por la distribución del error de refracción (es decir, la diferencia del equivalente esférico de la lente oftálmica progresiva en la trayectoria del haz en la posición de uso con respecto al equivalente esférico establecido mediante la determinación de la refracción) y/o por la distribución del astigmatismo residual (es decir, la diferencia del astigmatismo de la lente oftálmica con respecto al astigmatismo establecido mediante la determinación de la refracción). En lugar del término distribución del astigmatismo residual, en la literatura también se utilizan los términos distribución del error de astigmatismo y desviación astigmática. Además, un diseño de lente oftálmica puede comprender también la distribución de los valores teóricos para los defectos de aumento, de distorsión u otras aberraciones, especialmente los defectos de imagen de orden superior, como se describe en el documento EP 2 115 527 B1. En este caso puede tratarse de valores de superficie o preferiblemente de valores de uso, es decir, de valores en la posición de uso de la lente oftálmica.

Según la invención, el diseño de la lente oftálmica progresiva se modifica con el objetivo de acercarse lo más posible al astigmatismo residual teórico preestablecido. Por ejemplo, el astigmatismo residual teórico puede fijarse en cero en todos los puntos de evaluación. También es posible preestablecer una distribución del astigmatismo residual que tenga preferiblemente valores mucho más bajos que los que se pueden alcanzar teóricamente con una lente oftálmica progresiva convencional con un índice de refracción espacialmente no variable, pero con una superficie trasera (y/o superficie delantera) de conformación libre, o que los valores predeterminados para la optimización de una lente oftálmica progresiva de este tipo. Según Werner Köppen: Concepción y desarrollo de lentes oftálmicas progresivas, en la Revista Óptica Alemana DOZ 10/95, págs. 42-46, el número de puntos de evaluación se encuentra normalmente en el rango de entre 1000 y 1500. El documento EP 2 115 527 B1 propone un número de más de 8000 puntos de evaluación.

Según la invención, para acercarse lo más posible a este objetivo no sólo se modifica localmente la geometría de superficie de la superficie progresiva (posterior) en el punto de evaluación, sino también el índice de refracción local en el elemento de la lente oftálmica progresiva atravesado por el haz luminoso en el punto de evaluación. Por elemento se entiende el material o los materiales de los que se compone la lente oftálmica progresiva.

Para acercarse lo más posible al objetivo, este proceso de modificación debe en general realizarse varias veces, es decir, de forma iterativa. En este caso hay que aclarar una vez más que durante la modificación, especialmente durante la iteración, tanto la geometría de superficie local, como también el índice de refracción local pueden variar libremente y que ni la geometría de superficie local ni el índice de refracción local son fijos. Por el contrario, el documento WO 89/04986 A1 revela la especificación de geometrías comparativamente sencillas para las superficies delantera y trasera y la búsqueda de una distribución adecuada del índice de refracción para producir el aumento de rendimiento necesario para proporcionar la adición y, en su caso, para eliminar total o parcialmente el astigmatismo (residual) a lo largo de la línea de visión principal, así como para, en su caso, llevar a cabo además correcciones de las aberraciones laterales del meridiano principal.

A pesar de que el índice de refracción suele depender de la longitud de onda, generalmente la dispersión no se tiene en cuenta y el cálculo se realiza para una así llamada longitud de onda de diseño. Sin embargo, no se excluye que un

proceso de optimización considere diferentes longitudes de onda de diseño como se describe, por ejemplo, en el documento EP 2 383 603 B1.

5 Dado que la modificación se lleva a cabo con el objetivo de acercarse lo más posible a las propiedades ópticas teóricas, el experto en la materia también habla de optimización. La modificación se lleva a cabo hasta que se cumple un criterio de ruptura. En un caso ideal, el criterio de ruptura consiste en que la lente oftálmica progresiva diseñada presente las propiedades ópticas teóricas especificadas. Si el astigmatismo residual se fija en cero en todos los puntos de evaluación, este caso ideal consistiría en que el astigmatismo residual de la lente oftálmica calculada fuera realmente de cero en todos los puntos de evaluación. Sin embargo, dado que normalmente no será así, especialmente en el caso descrito, se produce una interrupción del cálculo, por ejemplo, después de alcanzar uno o varios valores límite en la proximidad de la(s) propiedad(es) teórica(s) o después de alcanzar un número predeterminado de iteraciones.

10 Normalmente, la determinación de las propiedades teóricas y el cálculo de las propiedades reales se basan en cálculos de modelo que tienen en cuenta las condiciones de uso, concretamente, por ejemplo, el ajuste de las lentes oftálmicas frente al ojo y un modelo de distancia de objeto, así como parámetros fisiológicos del usuario de las gafas, concretamente, por ejemplo, la visión defectuosa, la capacidad de acomodación y la distancia de las pupilas. Los detalles ya se han descrito anteriormente.

15 El resultado de la aproximación de la(s) propiedad(es) óptica(s) teórica(s) de la lente oftálmica progresiva mediante la modificación del índice de refracción local y de la geometría de superficie local es, por regla general, que la superficie delantera formada como superficie progresiva se configura como una superficie de forma libre y/o que la superficie trasera formada como superficie progresiva se configura como una superficie de forma libre.

20 La tarea planteada al principio se resuelve completamente gracias al procedimiento según la invención antes descrito.

Una variante de realización de este procedimiento según la invención se caracteriza por que la modificación del diseño de la lente oftálmica progresiva se realiza con respecto a una minimización de una función objetivo. En la literatura en lengua alemana, una función objetivo como ésta también se denomina función de coste y en la literatura anglosajona, función de mérito. En el diseño de lentes oftálmicas progresivas, el método de los errores cuadráticos mínimos se utiliza con mucha frecuencia como método para minimizar una función objetivo, como también ocurre, por ejemplo, en los documentos EP 0 857 993 B2, EP 2 115 527 B1 o también en Werner Köppen: Concepción y desarrollo de gafas progresivas, en la Revista Óptica Alemana DOZ 10/95, págs. 42-46. La variante de realización según la invención aplica este método con la siguiente función objetivo que se reproduce a continuación

$$F = \sum_m P_m \sum_n W_n (T_n - A_n)^2$$

30 En esta función objetivo F, P_m es la ponderación en el punto de evaluación m, W_n es la ponderación de la propiedad óptica n, T_n es el valor teórico de la propiedad óptica n en el respectivo punto de evaluación m y A_n es el valor real de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m.

35 La aplicación de este método ha proporcionado buenos resultados en el diseño de lentes oftálmicas progresivas de tipo convencional. La invención propone utilizar también este método para el diseño de lentes oftálmicas progresivas de índice de gradiente (GRIN) según la invención.

40 Una variante de realización especialmente ventajosa del procedimiento según la invención se caracteriza por que para al menos un punto de evaluación se predetermina un astigmatismo residual teórico que es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en una lente oftálmica progresiva de comparación para una prescripción idéntica, con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente oftálmica progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable, y por que la modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la trayectoria del rayo visual respectivo por los puntos de evaluación no se interrumpe hasta que el astigmatismo residual alcanzado para la lente oftálmica progresiva diseñada en el al menos un punto de evaluación sea menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en la lente oftálmica progresiva de comparación.

45 Como se ha explicado antes, el astigmatismo residual teórico en todos los puntos de evaluación puede fijarse en cero. Para diseñar una lente oftálmica progresiva que tenga en toda la superficie unas propiedades ópticas mejores que una lente oftálmica progresiva de comparación del tipo convencional, el astigmatismo residual teórico en todos los puntos de evaluación se elige para que sea, en al menos un porcentaje significativo, por ejemplo, del 10 al 50%, menor que el que se suele utilizar para el diseño de la lente oftálmica progresiva de comparación. En general se preestablece, en al menos los puntos de evaluación, un astigmatismo residual teórico que es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en los puntos de evaluación al menos correspondientes de la lente oftálmica progresiva de comparación que deben encontrarse dentro del canal de progresión posterior. Siempre es deseable una ampliación del canal de progresión.

Adicional o alternativamente a la variante de realización ventajosa antes descrita, una variante del procedimiento consiste en modificar la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la trayectoria del rayo visual respectiva a través de los puntos de evaluación, con la condición de que el valor máximo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva sea menor que el valor máximo del astigmatismo residual de una lente oftálmica progresiva de comparación para una prescripción idéntica con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente oftálmica progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable. En principio, el valor máximo del astigmatismo residual en la lente oftálmica progresiva diseñada según la invención no tiene que estar situado en el "mismo" lugar o en el "mismo" punto de evaluación que el valor máximo para el astigmatismo residual en la lente oftálmica progresiva de comparación. Sin embargo, esto también puede considerarse como una condición adicional en la realización del procedimiento. Gracias a estas especificaciones, las propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva mejoran aún más en comparación con una lente oftálmica progresiva de fabricación convencional.

En una variante de realización, el procedimiento según la invención puede llevarse a cabo de manera que en el diseño de la lente oftálmica progresiva resulte una lente oftálmica progresiva correspondiente a un producto de los tipos antes descritos. Las ventajas de estos productos ya se han descrito con anterioridad detalladamente.

En otra variante del procedimiento según la invención se prevé incluso que el diseño de la lente oftálmica progresiva se realice precisamente con la condición de producir una lente oftálmica progresiva correspondiente a un producto según uno de los tipos antes descritos.

En esta otra variante, las propiedades teóricas y las condiciones de interrupción se eligen de manera que la lente oftálmica progresiva correspondiente con las propiedades ópticas antes descritas se produzca durante el diseño forzosamente en la disposición predeterminada por la representación frente al ojo del futuro usuario de las gafas.

La invención prevé además un programa informático con un código de programa para la realización de todos los pasos del procedimiento según uno de los procedimientos antes descritos si el programa informático se carga en un ordenador y/o se ejecuta en un ordenador. El programa informático puede almacenarse en cualquier dispositivo legible por ordenador, especialmente en un disco duro de un ordenador, en un dispositivo de almacenamiento masivo USB o también en una nube. Por consiguiente, la invención también busca la protección para un dispositivo legible por ordenador con un programa informático del tipo antes descrito.

La invención también se refiere a un procedimiento para la fabricación de una lente oftálmica progresiva diseñada con un procedimiento de las variantes antes descritas por medio de un procedimiento aditivo.

Los procedimientos aditivos son procedimientos en los que la lente oftálmica progresiva se construye de forma secuencial. Especialmente, en este contexto se sabe que especialmente los así llamados fabricantes digitales ofrecen posibilidades de fabricación para prácticamente cualquier estructura que no puede realizarse o que sólo puede realizarse con dificultad con los procedimientos abrasivos clásicos. Dentro de la clase de máquinas de los fabricantes digitales, las impresoras 3D representan la subclase más importante de los fabricantes que construyen de forma aditiva, es decir, acumulativa. Las técnicas de impresión 3D más importantes son la fusión selectiva por láser (SLM) y la fusión por haz de electrones para metales y la sinterización selectiva por láser (SLS) para polímeros, cerámica y metales, la estereolitografía (SLA) y el procesamiento digital de la luz para resinas sintéticas líquidas y el modelado multijet o polyjet (por ejemplo, la impresión por chorro de tinta), así como el modelado por deposición fundida (FDM) para plásticos y en parte resinas sintéticas. También se conoce una estructura que utiliza nanocapas, como se describe, por ejemplo, en <http://peaknano.com/wpcontent/uploads/PEAK-1510-GRINOptics-Overview.pdf>, descargado el 12-01-2017.

Los materiales de partida para la fabricación mediante impresión 3D, así como las posibilidades del propio proceso de fabricación 3D pueden encontrarse, por ejemplo, en la solicitud de patente europea nº 16195139.7.

Otra variante perfeccionada de la invención consiste en un ordenador con un procesador diseñado para ejecutar un procedimiento para el diseño de una lente oftálmica progresiva según uno de los tipos o variantes antes descritos.

A diferencia de la solución descrita en el documento WO 89/04986 A1, del procedimiento según la invención antes descrito resulta especialmente un producto que comprende una lente oftálmica progresiva o una representación de la lente oftálmica progresiva que se encuentra en un soporte de datos. La lente oftálmica progresiva presenta una superficie delantera y una superficie trasera, así como un índice de refracción que varía espacialmente. La superficie delantera o la superficie trasera o las superficies delantera y trasera se configuran como una superficie progresiva. La lente oftálmica progresiva se caracteriza por que la superficie delantera configurada como superficie progresiva se configura como una superficie de forma libre o por que la superficie trasera configurada como superficie progresiva se configura como una superficie de forma libre o por que ambas superficies configuradas como superficies progresivas se configuran como superficies de forma libre. Por lo tanto, también se incluye el caso en el que ambas superficies, concretamente la superficie delantera y la superficie trasera, se configuran como superficies progresivas, pero sólo una de las dos superficies está presente como superficie de forma libre.

Por el término "representación de una lente oftálmica progresiva que se encuentra en un soporte de datos" se entiende, por ejemplo, una representación de la lente oftálmica progresiva almacenada en la memoria de un ordenador.

La representación de la lente oftálmica progresiva comprende especialmente una descripción de la forma geométrica y del elemento de la lente oftálmica progresiva. Una representación de este tipo puede comprender, por ejemplo, una descripción matemática de la superficie delantera, de la superficie trasera, de la disposición de estas superficies entre sí (incluido el grosor) y del límite marginal de la lente oftálmica progresiva, así como de la distribución del índice de refracción del elemento del que debe componerse la lente oftálmica progresiva. La representación puede ponerse a disposición de forma codificada o incluso cifrada. Por elemento se entiende aquí el material/los materiales o la sustancia de la que se fabrica la lente oftálmica progresiva. La lente oftálmica progresiva también se puede componer de múltiples capas, por ejemplo, de un vidrio fino con un grosor de entre 10 μm y 500 μm y de plástico aplicado sobre el mismo.

De acuerdo con el apartado 5.8 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, la superficie delantera o la superficie del lado del objeto de una lente oftálmica es la superficie de una lente oftálmica que, tal como está prevista en las gafas, se separa del ojo. Por consiguiente, según el apartado 5.9 de esta norma, la superficie trasera es la superficie del lado del ojo, es decir, la superficie de una lente oftálmica que, tal como está prevista en las gafas, está orientada hacia el ojo.

Según el apartado 7.7 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, una superficie progresiva es una superficie no rotacionalmente simétrica con un cambio continuo de la curvatura a lo largo de toda la superficie o parte de su superficie que generalmente sirve para proporcionar una adición cercana creciente o un efecto degresivo. Una variación continua excluye los cambios bruscos. En general, en el marco de la invención esto significa especialmente que la adición cercana o el efecto de degresión pueden ponerse a disposición pero no es necesario. Especialmente, en el marco de la presente invención, el índice de refracción espacialmente variable puede asumir esta tarea al menos parcialmente. Cualquier superficie de forma libre es una superficie progresiva según esta definición, pero no a la inversa.

En un sentido más amplio, por una superficie de forma libre se entiende una superficie compleja que puede representarse especialmente mediante funciones polinómicas exclusivamente (en especial, por partes) (especialmente, splines polinómicos como, por ejemplo, splines bicúbicos, splines de grado superior de cuarto grado o más, polinomios de Zernike, superficies de Forbes, polinomios de Chebyshev, series de Fourier, splines B racionales polinómicos no uniformes (NURBS)). Hay que distinguir las superficies simples como, por ejemplo, las superficies esféricas, las superficies asféricas, las superficies cilíndricas, las superficies tóricas o también las superficies descritas en el documento WO 89/04986 A1, que se describen como un círculo al menos a lo largo del meridiano principal (compárese ibid. pág. 12, líneas 6-13). Dicho de otro modo, las superficies de forma libre no pueden representarse en forma de cuerpos regulares clásicos como, por ejemplo, las superficies esféricas, las superficies asféricas, las superficies cilíndricas, las superficies tóricas o también las superficies descritas en el documento WO 89/04986 A1 (véase, por ejemplo, <https://www.computerwoche.de/a/die-natur-kennt-auch-nur-freiformflaechen,1176029> descargado el 18-01-2018; <http://www.megacad.de/kennenlernen/megacadschulungen/schulungsinhalte/schulung-freiformflaechen.html> descargado el 18-01-2018) sino, por ejemplo, mediante funciones exclusivamente polinómicas (especialmente, por partes) (especialmente, splines polinómicos como, por ejemplo, splines bicúbicos, splines de grado superior de cuarto grado o más, polinomios de Zernike, superficies de Forbes, polinomios de Chebyshev, series de Fourier, splines B racionales polinómicos no uniformes (NURBS)). Como consecuencia, las superficies de forma libre son superficies que no corresponden a ninguna geometría regular (véase, por ejemplo, <https://www.infograph.de/de/nurbs> descargado el 18-01-2018; https://books.google.de/books?id=OpugBwAAQBAJ&pg=PA101&lpg=PA101&dq=regelgeometrie+definition&source=bl&ots=CJimOwghvo&sig=MvsGv0sqbAVEygCaW-JQhfJ99jw&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwi_jcD5y-HYAhXDXCwKHUaQCBw4ChDoAQgsMAl#v=onepage&q=regelgeometrie%20definition&f=false descargado el 18-01-2018) o que no se pueden describir mediante formas de geometría analítica (véase, por ejemplo, https://books.google.de/books?id=LPzBgAAQBAJ&pg=PA26&lpg=PA26&dq=regelgeometrie+definition&source=bl&ots=e1upL5jinn&sig=hUNimu8deH5x8OvCiYsa242ddn8&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwi_jcD5y-HYAhXDXCwKHUaQCBw4ChDoAQgvMAM#v=onepage&q=regelgeometrie%20definition&f=false descargado el 18-01-2018).

La superficie de forma libre puede ser una superficie de forma libre en el sentido estricto según el apartado 2.1.2 de la norma DIN SPEC 58194 de diciembre de 2015, concretamente una superficie de lente oftálmica fabricada con tecnología de forma libre que se describe matemáticamente en el marco de los límites de la geometría diferencial y sin simetría puntual ni simetría axial.

Además, especialmente la superficie de forma libre puede no presentar ninguna simetría puntual, ninguna simetría axial, ninguna simetría rotativa y ninguna simetría con respecto a un plano de simetría. A pesar de que es conveniente eliminar cualquier restricción en cuanto a la geometría de superficie, es suficiente con permitir como superficies progresivas sólo las superficies de forma libre con un alto grado de complejidad considerando los requisitos actualmente comunes establecidos para las propiedades ópticas de lentes oftálmicas progresivas. Si, además, se

permite el mismo grado de complejidad para la distribución del índice de refracción en la lente oftálmica progresiva, concretamente al menos en dos o preferiblemente en tres dimensiones espaciales, estas lentes oftálmicas progresivas cumplen en la mayor medida posible los requisitos de los usuarios de gafas en cuanto a sus propiedades ópticas.

5 En el caso de una lente oftálmica progresiva que presenta un canal de progresión, una primera variante consiste en que la superficie delantera configurada como una superficie de forma libre está diseñada de manera que la curvatura media en el canal de progresión sea máxima y se incline hacia la periferia y/o hacia abajo. Alternativa o adicionalmente, la superficie trasera configurada como una superficie de forma libre también puede diseñarse de manera que la curvatura media en el canal de progresión sea mínima y aumente hacia la periferia y/o hacia abajo. Con otras palabras, la superficie delantera configurada como una superficie de forma libre está diseñada de manera que el máximo de la magnitud de la curvatura media de la superficie delantera se encuentre en el canal de progresión y/o la superficie trasera configurada como una superficie de forma libre está diseñada de manera que el mínimo de la magnitud de la curvatura media de la superficie trasera se encuentre en el canal de progresión.

10 Según la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, apartado 14.1.25, el canal de progresión es la zona de una lente oftálmica progresiva que permite una visión nítida para las distancias que se encuentran entre la distancia lejana y la distancia cercana.

15 Las superficies de este tipo pueden fabricarse con la máxima precisión utilizando los métodos de producción actualmente disponibles. Especialmente, la elección de esta geometría de superficie para la superficie delantera durante la fabricación presenta ventajas. La eliminación del pulido mediante las herramientas de pulido actualmente disponibles, cuya superficie de pulido, al menos aproximadamente esférica, corresponde a aproximadamente un tercio de la superficie de lente oftálmica a pulir, puede mantenerse suficientemente homogénea sobre la superficie de lente oftálmica a pulir, de manera que la desviación de la geometría calculada de la lente oftálmica sea comparativamente pequeña. Así, la desviación de las propiedades ópticas reales con respecto a las propiedades ópticas calculadas de la lente oftálmica es extremadamente pequeña.

20 Otra variante se caracteriza por que la lente oftálmica progresiva se configura de manera que posea las propiedades ópticas descritas a continuación que son más ventajosas para el usuario de las gafas progresivas que las de una lente oftálmica progresiva de comparación que no presenta ninguna variación del índice de refracción espacial pero sí una distribución idéntica del equivalente esférico.

25 Se explica que una lente oftálmica se concibe para una disposición predeterminada frente a un ojo de un usuario de gafas y para una o varias distancias de objeto predeterminadas a las que el usuario de gafas debe percibir un objeto nítidamente. En una disposición diferente frente al ojo del usuario de las gafas y para otras distancias de objeto, la lente oftálmica no tiene ningún valor o la calidad óptica está muy limitada para el usuario de las gafas. Esto se aplica aún más a las lentes oftálmicas progresivas. Por consiguiente, una lente oftálmica progresiva sólo se caracteriza por el conocimiento de la disposición predeterminada frente al ojo del usuario de las gafas. Dicho de otra forma, el conocimiento de la disposición de la lente oftálmica en cuanto a lugar y orientación en el espacio con respecto al ojo es necesario, pero también suficiente, para caracterizarla de forma inequívoca en relación con su efecto óptico para el usuario de las gafas. Además, un óptico sólo puede colocar la lente en la posición correcta en una montura de gafas si conoce la disposición de la lente oftálmica en cuanto al lugar y la orientación y en relación con el ojo del usuario de las gafas. Una representación de la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas, para el que está prevista la lente oftálmica progresiva es, por lo tanto, una parte inseparable de la pieza (producto) o artículo "lente oftálmica progresiva".

30 El fabricante aplica marcas permanentes en la lente oftálmica progresiva para garantizar una disposición correcta en cuanto a la posición y la orientación por parte del óptico. La norma DIN EN ISO 13666:2013-10 establece en el apartado 14.1.24 que ésta se denomina marca para la alineación o el marcado permanente, siendo la misma aplicada por el fabricante, a fin de permitir la orientación horizontal de la lente oftálmica [...] o la reconstrucción de otros puntos de referencia. De acuerdo con el apartado 6.1 de la norma DIN EN ISO 14889:2009, el fabricante de lentes oftálmicas acabadas de borde no trabajado debe permitir una identificación mediante información en el embalaje individual o en un documento adjunto. Especialmente debe proporcionar los valores de corrección para las situaciones de uso, el efecto de adición cercana, la designación del tipo o el nombre comercial y la información necesaria para medir la adición cercana. De la designación de tipo o del nombre comercial resulta el modelo de distancia de objeto que el fabricante toma como base para la lente oftálmica progresiva. De acuerdo con el punto 3.1 de esta norma, por fabricante se entiende la persona física o jurídica que comercializa la lente oftálmica acabada de borde no trabajado.

35 En esta variante, el producto comprende además una representación, que se encuentra en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva. Como se ha explicado antes, la lente oftálmica progresiva (no sólo) en esta variante presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva. La lente oftálmica progresiva presenta además un canal de progresión con una anchura. La lente oftálmica progresiva diseñada según esta variante posee un índice de refracción que varía espacialmente de manera que la anchura del canal de progresión de la lente oftálmica progresiva sea mayor, al menos en una sección o a lo largo de

toda la longitud del canal de progresión, que la anchura del canal de progresión de una lente oftálmica progresiva de comparación para una prescripción idéntica con la misma distribución del equivalente esférico en caso de una misma disposición de la lente oftálmica progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable.

- 5 El término "equivalente esférico" se define aquí como la media aritmética del efecto de enfoque, como se deduce, por ejemplo, de Albert J. Augustin: Augenheilkunde. 3ª edición, completamente revisada y ampliada. Springer, Berlín, entre otros, 2007, ISBN 978-3-540-30454-8, pág. 1272 o Heinz Diepes, Ralf Blendowske: Optik und Technik der Brille. 1ª edición, Optische Fachveröffentlichung GmbH, Heidelberg 2002, ISBN 3-922269-34-6, pág. 482:

$$\text{Equivalente esférico} = \text{Esfera} + \frac{1}{2} \times \text{Cilindro}$$

- 10 Según el apartado 9.2 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, el efecto de enfoque es el término genérico para el efecto esférico y astigmático de una lente oftálmica. En la ecuación, el efecto esférico se abrevia con "esfera" y el efecto astigmático se representa con "cilindro". En relación con el término equivalente esférico, también se utiliza el término efecto esférico medio.

15 Según la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, apartado 14.1.25, el canal de progresión es la zona de una lente oftálmica progresiva que permite una visión nítida para las distancias que se encuentran entre la distancia lejana y la distancia cercana. En el centro del canal de progresión se desarrolla la línea de visión principal que representa la totalidad de todos los puntos de visión a través de la superficie progresiva durante el movimiento de visión del ojo hacia los puntos de objeto que se encuentran en línea recta delante del usuario de las gafas desde la distancia lejana hasta la distancia cercana. Se supone que la línea de visión principal se encuentra regularmente en la superficie delantera. Con otras palabras, la línea principal de visión es aquella línea en la superficie delantera de una lente oftálmica que conecta los principales puntos de visión a través de la lente progresiva para la visión de lejos y de cerca y en la que los puntos de intersección de los rayos visuales para las distancias intermedias se encuentran en la dirección "recta" (nota: el uso de la superficie trasera como superficie de referencia en la que se encuentra la línea principal de visión es bastante inusual). La línea principal de visión es normalmente una línea aproximadamente perpendicular en las partes de visión

20

25 lejana y de visión cercana que se desarrolla de forma helicoidal en el canal de progresión, es decir, en la parte de una lente oftálmica progresiva que posee el efecto dióptrico para la visión a distancias que se encuentran entre la distancia lejana y la distancia cercana. La longitud del canal de progresión puede determinarse, por ejemplo, mediante la posición de los puntos de referencia de la construcción de distancia lejana y distancia cercana o mediante la posición de los puntos de referencia de distancia lejana y distancia cercana. Según el punto 5.13 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, el punto de referencia de construcción de la distancia lejana es el punto en la superficie delantera de una lente oftálmica acabada o de la superficie tratada acabada de un pulido de lente oftálmica en el que, según los datos del fabricante, están presentes los valores teóricos de construcción para la parte de visión lejana. De acuerdo con el apartado 5.14 de esta norma, el punto de referencia de construcción de distancia cercana es el punto en la superficie delantera de una lente oftálmica acabada o de la superficie tratada acabada de un pulido de lente oftálmica

30

35 en el que, según los datos del fabricante, se encuentran los valores teóricos de construcción para la parte de visión cercana. Según el apartado 5.15, el punto de referencia de distancia lejana o el punto de referencia principal es el punto en la superficie delantera de una lente oftálmica en el que debe conseguirse el efecto dióptrico para la parte de visión lejana y, según el apartado 5.17, el punto de visión cercana es la posición supuesta del punto de visión en una lente oftálmica para la visión cercana en determinadas condiciones.

- 40 En principio, es posible definir y determinar de manera inequívoca las propiedades de la lente oftálmica progresiva en relación con una lente oftálmica progresiva de comparación por medio de la indicación anterior. Resulta un criterio sencillo si se supone que el al menos un corte es una variante del grupo

- corte horizontal,

- corte de media adición (especialmente en la línea de visión principal),

- 45 - sección horizontal de media adición (especialmente en la línea de visión principal)

- sección horizontal de media adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal de un 25% de la adición (especialmente en la línea de visión principal)

- sección horizontal de media adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal de un 75% de la adición (especialmente en la línea de visión principal)

- 50 - sección horizontal de media adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal de un 25% de la adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal de un 75% de la adición (especialmente en la línea de visión principal).

La norma DIN EN ISO 13666:2013-10 define en el apartado 14.2.1 la adición cercana o la adición como la diferencia entre el valor de refracción en el vértice de la parte de visión cercana y el valor de refracción en el vértice de la parte de visión lejana medida con procedimientos determinados. Esta norma establece que los procedimientos de medición correspondientes se incluyan en la norma que regula las lentes oftálmicas. Como norma decisiva, la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 hace referencia a la norma DIN EN ISO 8598-1:2012, "Óptica e instrumentos ópticos - Instrumentos de medición del valor de refracción en el vértice - Parte 1: Instrumentos de uso general". El índice de refracción de la cresta se define en la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, apartado 9.7 como sigue. Se distingue entre el valor de refracción en el vértice por el lado de la imagen, que se define como el valor recíproco de la distancia focal paraxial del foco del lado de la imagen medido en metros, y el valor de refracción en el vértice del lado del objeto que se define como el valor recíproco de la distancia focal paraxial del foco del lado del objeto medido en metros. Cabe señalar que, por convenio, en la óptica oftálmica, el valor de refracción en el vértice del lado de la imagen es el "valor de refracción en el vértice" de una lente oftálmica utilizada, pero para ciertos fines también se requiere el valor de refracción en el vértice del lado del objeto, por ejemplo, para la medición de la adición en algunas lentes oftálmicas multifocales y progresivas.

15 Resulta otra variante de la definición de las propiedades de la lente oftálmica progresiva mediante una comparación con las propiedades de una lente oftálmica progresiva de comparación con unas propiedades predeterminables biunívocas, concretamente la misma distribución del equivalente esférico a través de la lente en la misma posición de la lente oftálmica frente al ojo del mismo usuario de las gafas progresivas tomando como base el mismo modelo de distancia de objeto, si el producto presenta además

20 (i) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o

(ii) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución de acción astigmática necesaria para la corrección completa para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o

25 (iii) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo de un usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o

30 (iv) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva.

En esta variante de una lente oftálmica progresiva, que presenta una parte de visión lejana y una parte de visión cercana, la anchura del canal de progresión se define a través de la dimensión transversal a una dirección longitudinal del canal de progresión que se desarrolla entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana, dentro de la cual el valor de la magnitud de astigmatismo residual se encuentra por debajo de un valor límite predeterminado seleccionado dentro de un rango del grupo que se indica a continuación:

35 (a) el valor límite se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 1,5 dpt

(b) el valor límite se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 1,0 dpt

(c) el valor límite se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 0,75 dpt

40 (d) el valor límite se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 0,6 dpt

(e) el valor límite se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 0,5 dpt

(f) el valor límite es de 0,5 dpt.

Por astigmatismo residual se entiende el astigmatismo (según el valor y la dirección axial) en el que el astigmatismo o el efecto astigmático de la lente oftálmica progresiva en un punto respectivo de una superficie de lente oftálmica progresiva para un haz de rayos que atraviesa la lente oftálmica progresiva en ese lugar para el usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva, cuando el usuario de las gafas progresivas lleva puesta la lente oftálmica progresiva conforme a lo previsto (de manera que ésta se disponga de forma predeterminada delante del ojo del usuario de las gafas progresivas), se desvía del efecto astigmático necesario para una corrección completa. El término "distribución" aclara que este astigmatismo residual puede y, por regla general, también suele variar localmente a lo largo de la lente oftálmica.

Dicho de otro modo, por astigmatismo residual se entiende la desviación del efecto astigmático (efecto real astigmático) de la lente oftálmica progresiva del efecto astigmático "prescrito" con respecto al valor y la posición axial.

Con otras palabras, el astigmatismo residual es la diferencia, dependiente de la dirección de visión, entre el efecto astigmático real y el efecto astigmático teórico para el usuario de la lente oftálmica progresiva en posición de uso. En la posición de uso se tienen en cuenta la posición y la orientación de la lente oftálmica en relación con el ojo durante un uso conforme a su finalidad. La dependencia de la dirección de visión del efecto astigmático puede resultar especialmente de la dependencia de la dirección de visión de la distancia del objeto y de la dependencia de la dirección de visión del efecto astigmático del ojo. La expresión "efecto prescrito" debe entenderse, por consiguiente, en el sentido más amplio como el efecto teórico que debe tener la lente oftálmica en función de su posición y orientación tomadas como base con respecto al ojo para la respectiva dirección de visión y la distancia a la que el usuario de las gafas debe ver el objeto con nitidez para esta dirección de visión.

Para el cálculo concreto de la distribución del astigmatismo residual (u otras distribuciones normales de errores como, por ejemplo, la distribución normal de errores esférica u otras distribuciones normales de errores de orden superior descritas, por ejemplo, en el documento EP 2 115 527 B1, o de distribuciones de efecto reales como, por ejemplo, el efecto real astigmático, el efecto real esférico o el efecto real prismático), se suelen considerar, por ejemplo, la distancia del vértice de la córnea, la distancia de las pupilas, la preinclinación de la lente oftálmica, el ángulo de la montura de lente de la lente oftálmica y el tamaño de la lente oftálmica, incluyendo especialmente el grosor y/o el borde (desarrollo del borde). Además, normalmente se toma como base un modelo de distancia de objeto que describe la posición de los puntos del objeto en el campo de visión del usuario de las gafas relativamente con respecto a sus puntos de giro del ojo.

La distribución del astigmatismo residual puede estar ya disponible como descripción matemática calculada (como en el caso (i)) o puede determinarse a partir de la prescripción (el término receta también se utiliza con frecuencia) y de un modelo de distancia de objeto (como en el caso (iii)) o de una distribución del efecto astigmático ya calculada para la corrección completa (como en el caso (ii)).

Además de los valores de refracción convencionales, la prescripción también puede comprender otros parámetros fisiológicos inherentes al usuario de las gafas (es decir, generalmente los parámetros propios del usuario de las gafas), así como las condiciones de uso (es decir, generalmente los parámetros atribuibles al entorno del usuario de las gafas) en las que se debe utilizar la lente oftálmica progresiva prescrita. Los parámetros fisiológicos inherentes incluyen, entre otros, la vista defectuosa, la capacidad de acomodación y la distancia de pupila (en su caso también monocular). Las condiciones de uso incluyen información sobre el ajuste de las lentes frente al ojo y también datos que caracterizan el modelo de distancia de objeto como, por ejemplo, si se trata de unas gafas que se van a utilizar para trabajar en una pantalla y que para la dirección de visualización de la distancia toma como base un objeto, concretamente la pantalla, a una distancia distinta del infinito. En caso de que la prescripción medida individualmente o específica no contenga condiciones de uso determinadas, se asumen ciertos valores estándar (por ejemplo, preinclinación estándar 9°).

Por un modelo de distancia de objeto se entiende una suposición para las distancias en el espacio bajo las cuales el usuario de las gafas debería ver los objetos con nitidez. Como ya se ha explicado anteriormente, en el modelo de distancia de objeto, la posición del objeto se refiere generalmente al punto de giro del ojo.

El cálculo del modelo puede tener en cuenta que el efecto y la posición axial del ojo cambian con diferentes distancias de objeto y direcciones de visión. Especialmente, el cálculo del modelo puede considerar la así llamada regla de Listing. El cálculo del modelo también puede tener en cuenta, por ejemplo, la variación del efecto astigmático del ojo para distancias cercanas y para distancias lejanas, por ejemplo, del modo descrito en el documento DE 10 2015 205 721 A1.

Por corrección completa se entiende una corrección provocada por el uso previsto de las gafas progresivas que, teniendo en cuenta las propiedades visuales del ojo del usuario representadas por la prescripción, permite al usuario de las gafas progresivas ver con nitidez los objetos dispuestos a las distancias en las que se basa el modelo de distancia de objeto.

Para una mayor claridad hay que hacer constar que el soporte de datos en el que se encuentra la representación predeterminada también puede ser, por ejemplo, una hoja de papel en lugar de una memoria de un ordenador. Esto se aplica especialmente al caso (iii) anterior, en el que la prescripción también puede anotarse en una hoja de papel.

Otro ejemplo de realización de un producto comprende los siguientes componentes:

- una representación que se encuentra en un soporte de datos de una disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva, y

- una o varias de las siguientes representaciones en un soporte de datos:

- (i) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o

- (ii) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución de efecto astigmática necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o
- 5 (iii) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o
- (iv) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva.
- 10 La lente oftálmica progresiva según este ejemplo de realización presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva. En esta forma de realización, el índice de refracción de la lente oftálmica progresiva varía espacialmente de manera que el valor máximo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva sea menor que el valor máximo del astigmatismo residual de una lente oftálmica progresiva de comparación para una prescripción idéntica con la misma distribución del equivalente esférico en caso de una misma
- 15 disposición de la lente oftálmica progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable.
- Las propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva perceptibles para el usuario de las gafas según este ejemplo de realización se han mejorado en comparación con todas las lentes oftálmicas progresivas de tipo convencional.
- 20 Otra variante de un producto comprende los siguientes componentes especificados:
- una representación, que se encuentra en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva,
 - al menos una de las siguientes representaciones en un soporte de datos:
- 25 (i) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o
- (ii) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución de efecto astigmática necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del
- 30 usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o
- (iii) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo de un usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva; y/o
- (iv) una representación que se encuentra en un soporte de datos de una distribución del equivalente esférico para la
- 35 disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva.
- La lente oftálmica progresiva según esta variante de realización presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente oftálmica progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente oftálmica progresiva. La lente oftálmica progresiva tiene un canal de progresión. El
- 40 índice de refracción de la lente oftálmica progresiva varía espacialmente de manera que, para un valor de astigmatismo residual preestablecido $A_{\text{residual,límite}}$ seleccionado del grupo
- (a) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{residual,límite}}$ se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 1,5 dpt
 - (b) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{residual,límite}}$ se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 1,0 dpt
 - (c) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{residual,límite}}$ se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 0,75 dpt
 - 45 (d) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{residual,límite}}$ se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 0,6 dpt
 - (e) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{residual,límite}}$ se encuentra en el rango de entre 0,25 dpt y 0,5 dpt
 - (f) el valor de astigmatismo residual $A_{\text{residual,límite}}$ es de 0,5 dpt

en una sección horizontal en el punto más estrecho del canal de progresión (por ejemplo, donde las líneas de isoastigmatismo para 1 dpt presentan la distancia más reducida unas respecto a otras) o en una sección horizontal a través del punto de la línea de visión principal en el que se alcanza la mitad de la adición, dentro de una zona con una distancia horizontal de 10 mm a ambos lados de la línea de visión principal, se aplique la siguiente relación:

$$5 \quad B > c \times \frac{A_{\text{residual, límite}}}{\text{grado } W}$$

siendo grado W el gradiente de efecto del equivalente esférico de la lente oftálmica progresiva en el punto de la línea de visión principal en el punto más estrecho del canal de progresión o en el punto de la línea de visión principal en el que se alcanza la mitad de la adición, siendo B la anchura de la zona en la lente oftálmica progresiva en la que el astigmatismo residual es $A_{\text{residual}} \leq A_{\text{residual, límite}}$, siendo c una constante seleccionada del grupo:

- 10 (a) $1,0 < c$
 (b) $1,1 < c$
 (c) $1,2 < c$
 (d) $1,3 < c$.

15 Las propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva perceptibles para el usuario de las gafas según esta variante de realización se han mejorado en comparación con todas las lentes oftálmicas progresivas de tipo convencional.

20 Otra variante de un producto determinable de acuerdo con el procedimiento según la invención comprende una lente oftálmica progresiva o una representación, que se encuentra en un soporte de datos, de la lente oftálmica progresiva, presentando la lente oftálmica progresiva una superficie delantera y una superficie trasera, así como un índice de refracción espacialmente variable. La superficie delantera o la superficie trasera o ambas superficies se configuran como una superficie progresiva. La superficie delantera configurada como una superficie progresiva se configura, según la invención, como una superficie de forma libre y/o la superficie trasera configurada como una superficie progresiva se configura, según la invención, como una superficie de forma libre. La lente oftálmica progresiva se compone de un sustrato que no presenta capas individuales, así como de un revestimiento de superficie delantera que comprende una o varias capas individuales en la superficie delantera del sustrato y/o de un revestimiento de superficie trasera que comprende una o varias capas individuales en la superficie trasera del sustrato. Sólo el sustrato presenta el índice de refracción que varía espacialmente.

25 Según una variante, una diferencia entre el equivalente esférico medido en cada punto de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva con el revestimiento de superficie delantera y/o el revestimiento de superficie trasera y el equivalente esférico medido en cada punto correspondiente en la superficie delantera de una lente oftálmica progresiva de comparación sin revestimiento de superficie delantera y sin revestimiento de superficie trasera, pero con un sustrato idéntico (con una geometría idéntica y con un índice de refracción idéntico), es menor que un valor de los grupos indicados a continuación:

- 30 (a) el valor de diferencia es inferior a 0,001 dpt
 (b) el valor de diferencia es inferior a 0,002 dpt
 35 (c) el valor de diferencia es inferior a 0,003 dpt
 (d) el valor de diferencia es inferior a 0,004 dpt.

Naturalmente, esta variante puede presentar también una o varias de las características antes descritas.

La invención se describe a continuación más detalladamente a la vista de los dibujos. Se muestra en la:

40 Figura 1 propiedades ópticas de una lente oftálmica progresiva de comparación con un diseño convencional de un material con un índice de refracción de $n=1,600$ con respecto a una lente oftálmica progresiva GRIN con un plano de simetría vertical de acuerdo con un primer ejemplo de realización según la invención a: efecto esférico medio de la lente oftálmica progresiva de comparación b: índice de refracción superficial medio de la lente oftálmica progresiva de comparación, superficie de forma libre en el lado del objeto c: astigmatismo superficial medio para $n=1,600$ de la superficie de forma libre en el lado del objeto de la lente oftálmica progresiva de comparación de la figura 1a,

45 Figura 2 propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización a: efecto esférico medio b: poder refringente superficial medio calculado para un índice de refracción constante $n=1,600$ para la superficie de forma libre del lado del objeto c: astigmatismo superficial medio para $n=1,600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente oftálmica progresiva GRIN de la figura 2a,

- Figura 3 la distribución del índice de refracción de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización,
- Figura 4 comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación a: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación b: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización,
- Figura 5 comparación del desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con el desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación a lo largo de una sección en $y=0$ según la figura 4 a: desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación b: desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización,
- Figura 6 comparación del contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación a: alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación b: alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización,
- Figura 7 propiedades ópticas de una lente oftálmica progresiva de comparación con un diseño convencional de un material con un índice de refracción de $n=1,600$ con respecto a una lente oftálmica progresiva GRIN con un plano vertical de simetría según un segundo ejemplo de realización según la invención a: efecto esférico medio b: poder refringente superficial medio, superficie de forma libre del lado del objeto c: astigmatismo superficial para $n=1,600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente oftálmica progresiva de comparación de la figura 7a,
- Figura 8 propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización a: efecto esférico medio b: poder refringente superficial medio calculado para un índice de refracción $n=1,600$ para la superficie del lado del objeto c: desarrollo del astigmatismo superficial de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización,
- Figura 9 la distribución del índice de refracción de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización,
- Figura 10 comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación a: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación b: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización,
- Figura 11 comparación del desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con el desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación a lo largo de una sección en $y = -5$ mm según la figura 10 a: desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación b: desarrollo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización,
- Figura 12 comparación del contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación; las alturas de flecha se indican en relación con un plano inclinado en $-7,02^\circ$ con respecto al eje horizontal a: alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización b: alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación,
- Figura 13 propiedades ópticas de una lente oftálmica progresiva de comparación con un diseño convencional de un material con un índice de refracción de $n=1,600$ con respecto a una lente oftálmica progresiva GRIN sin ninguna simetría de acuerdo con un tercer ejemplo de realización según la invención a: efecto esférico medio de la lente oftálmica progresiva de comparación b: poder refringente superficial medio de la lente oftálmica progresiva de comparación, superficie de forma libre en el lado del objeto,
- Figura 14 propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización a: efecto esférico medio b: poder refringente superficial medio calculado para un índice de refracción $n=1,600$,
- Figura 15 la distribución del índice de refracción de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización,
- Figura 16 comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación a: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación b: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización,

Figura 17 comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación a lo largo de una sección en $y = -5$ mm según la figura 16 a: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva de comparación b: distribución del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización,

Figura 18 comparación del contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización con el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación a: alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación b: alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización.

Los tres primeros ejemplos de realización se refieren a las lentes oftálmicas progresivas GRIN o a su representación en una memoria de un ordenador. El cuarto ejemplo de realización muestra a modo de ejemplo un procedimiento según la invención para el diseño de una lente oftálmica progresiva GRIN.

Primer ejemplo de realización

En el primer ejemplo se elige una lente oftálmica progresiva con una geometría de superficie especialmente simple. Se construye de forma simétrica con respecto a un plano perpendicular al plano de trazado y se compone fundamentalmente sólo de una zona dispuesta en la zona central que se desarrolla perpendicularmente de arriba abajo con un efecto creciente constante.

La figura 1a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria óptica para el usuario de las gafas para una lente oftálmica progresiva de un material estándar (índice de refracción $n=1,600$) con una superficie de forma libre en el lado del objeto que se describe mediante las así llamadas splines bicúbicas. Esta lente oftálmica progresiva sirve como lente oftálmica progresiva de comparación para una lente oftálmica progresiva configurada según la invención que en lo sucesivo se denomina lente oftálmica progresiva GRIN debido a su índice de refracción espacialmente variable.

La superficie trasera de la lente oftálmica progresiva de comparación es una superficie esférica con un radio de 120 mm y el punto de giro del ojo está situado detrás del centro geométrico de la lente a una distancia de 25,5 mm de la superficie trasera. La lente tiene un grosor central de 2,5 mm y un efecto prismático 0 en el centro geométrico. La superficie trasera no está inclinada, es decir, tanto la superficie delantera, como también la superficie trasera tienen en el centro geométrico una normal en la dirección de visión horizontal recta.

Los ejes de coordenadas dibujados x e y sirven para determinar los puntos de esta superficie. En el eje central perpendicular de la lente, el efecto rebasa las 0,00 dioptrías a una altura de aproximadamente $y = 25$ mm, alcanzándose un efecto de 2,25 dpt (dioptrías) en aproximadamente $y = -25$ mm. Por consiguiente, a esta longitud de 50 mm, el efecto de la lente aumenta en 2,25 dpt. Por lo tanto, para el usuario de las gafas en la posición de uso prevista, la lente oftálmica progresiva no tiene ningún efecto esférico (esfera = 0) ni ningún efecto astigmático (cilindro = 0) en la parte de visión lejana y una adición de 2,25 dpt. De acuerdo con el apartado 11.1 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, una lente oftálmica con un efecto esférico es una lente oftálmica que combina un haz de luz paraxial y paralelo en un único punto focal. Según el apartado 12.1 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, una lente oftálmica con un efecto astigmático es una lente oftálmica que combina un haz de luz paraxial y paralelo en dos líneas focales separadas perpendiculares entre sí y que, por consiguiente, tiene un poder refringente en el vértice sólo en las dos secciones principales. El apartado 14.2.1 de esta norma define la adición como la diferencia entre el poder refringente en el vértice de la parte de visión cercana y el poder refringente de la parte de visión lejana.

La figura 1b muestra el poder refringente superficial medio para $n=1,600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente oftálmica progresiva de comparación de la figura 1a. La curvatura de superficie aumenta constantemente de arriba abajo, el poder refringente superficial medio aumenta de unos 5,3 dpt en $y = 15$ mm a unos 7,0 dpt en $y = -25$ mm.

La figura 1c muestra el astigmatismo superficial medio para $n=1,600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente oftálmica progresiva de comparación de la figura 1a.

Las figuras 2a, 2b y 2c muestran la reproducción de la lente oftálmica progresiva de comparación utilizando un material GRIN. La figura 2a muestra la distribución del efecto esférico medio. Comparando la figura 1a y la figura 2a, se puede observar que la distribución del efecto de las dos lentes oftálmicas progresivas es la misma. En la figura 2b se representa el desarrollo del poder refringente superficial medio y en la figura 2c se representa el desarrollo del astigmatismo superficial de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN configurada según la invención. Para poder comparar las curvaturas medias con la figura 1b y el astigmatismo superficial con la figura 1c, en el cálculo del poder refringente superficial medio y del astigmatismo superficial no se utilizó el material GRIN, sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n=1,600$.

Según Heinz Diepes, Ralf Blendowske: Optik und Technik der Brille; 2ª edición, Heidelberg 2005, pág. 256, se definen el poder refringente superficial medio y el astigmatismo superficial.

5 La comparación de las figuras 2b y 2c con las figuras 1b y 1c muestra que la forma de la superficie de forma libre ha cambiado considerablemente: el poder refringente superficial medio (calculado con $n=1,600$) disminuye ahora de arriba abajo, es decir, la curvatura media de la superficie se hace más pequeña de arriba abajo. El desarrollo del astigmatismo superficial ya no muestra ningún canal de progresión típico.

La figura 3 muestra la distribución del índice de refracción a lo largo de la lente oftálmica progresiva GRIN fabricada según la invención. Aquí, el índice de refracción aumenta de arriba abajo desde aproximadamente $n = 1,48$ hasta aproximadamente $n = 1,75$ en la zona inferior.

10 La figura 4a y la figura 4b representan los efectos del uso del material GRIN con su especial distribución del índice de refracción, así como el diseño de la superficie de forma libre para esta lente oftálmica progresiva GRIN, en la anchura del canal de progresión en comparación con la lente estándar. Las figuras muestran la distribución de los errores astigmáticos residuales en la trayectoria óptica del usuario de las gafas para un usuario de gafas con una prescripción puramente esférica.

15 En este ejemplo resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 17 mm a 22 mm, es decir, en un 30% aproximadamente.

20 La figura 5a y la figura 5b muestran secciones transversales a través de las distribuciones de astigmatismo residual de la figura 4a y la figura 4b. Aquí, la relación convencional entre el aumento del efecto y el aumento lateral así inducido del error astigmático (similar a la relación del poder refringente superficial medio con respecto al astigmatismo superficial según el teorema de Minkwitz) resulta especialmente clara. El aumento del astigmatismo en las proximidades del centro del canal de progresión ($y = 0$) es considerablemente menor en la lente GRIN, a pesar de que se produce el mismo aumento del efecto que en la lente estándar. Precisamente este aumento se explica en la teoría de la óptica de las lentes progresivas con el planteamiento de Minkwitz.

25 La figura 6 compara el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación con la ayuda de una representación de alturas de flecha. La figura 6b muestra las alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización y, en comparación, la figura 6a muestra las alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación.

Segundo ejemplo de realización

30 Todas las figuras siguientes corresponden temáticamente y en orden a las del primer ejemplo de realización.

35 La figura 7a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria óptica para el usuario de las gafas progresivas para una lente oftálmica progresiva de comparación de un material estándar (índice de refracción $n=1,600$) con una superficie de forma libre en el lado del objeto. La superficie trasera es de nuevo una superficie esférica con un radio de 120 mm y el punto de giro del ojo está 4 mm por encima del centro geométrico de la lente oftálmica progresiva de comparación con una distancia horizontal de 25,8 mm con respecto a la superficie trasera. La lente oftálmica progresiva de comparación tiene un grosor central de 2,6 mm y, 2 mm por debajo del centro geométrico, un efecto prismático de 1,0 cm/m, base 270°. La superficie trasera está inclinada -8° con respecto al eje horizontal.

40 Los ejes de coordenadas dibujados sirven para la determinación de los puntos de esta superficie. En el eje central perpendicular de la lente oftálmica progresiva de comparación, el efecto rebasa la línea de 0,00 dioptrías a una altura de aproximadamente $y = 6$ mm (es decir, el usuario de las gafas recibe un efecto de casi 0 dioptrías cuando mira horizontalmente en línea recta), alcanzándose un efecto de 2,00 dioptrías con aproximadamente $y = -14$ mm. Por consiguiente, a esta longitud de 20 mm, el efecto de la lente aumenta en 2,00 dpt.

45 La figura 7b muestra el poder refringente superficial medio para $n=1,600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente oftálmica progresiva de comparación de la figura 7a. La curvatura de superficie aumenta constantemente de arriba abajo, el poder refringente superficial medio aumenta de 5,00 dpt con $y = 2$ mm a 6,75 dpt con $y = -18$ mm.

La figura 7c muestra el astigmatismo superficial para $n=1,600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente oftálmica progresiva de comparación de la figura 7a.

50 Las figuras 8a, 8b y 8c muestran la reproducción de la lente oftálmica progresiva de comparación utilizando un material GRIN (lente oftálmica progresiva fabricada según la invención). La figura 8a muestra la distribución del efecto esférico medio. De la comparación de las figuras 7a y 8a se deduce que el aumento del efecto a lo largo de la línea central perpendicular de las dos lentes es el mismo. En la figura 8b se representa el desarrollo del poder refringente superficial medio y en la figura 8c se representa el desarrollo del astigmatismo superficial de la superficie delantera de la lente

oftálmica progresiva GRIN. Para poder comparar las curvaturas medias con la figura 7b y el astigmatismo superficial con la figura 7c, no se utilizó el material GRIN en el cálculo, sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n=1,600$.

5 La comparación de las figuras 8b y 8c con las figuras 7b y 7c muestra que la forma de la superficie de forma libre ha cambiado significativamente: el poder refringente superficial medio (calculado con $n=1,600$) disminuye ahora de forma desigual desde el centro de la lente hacia el borde. El desarrollo del astigmatismo superficial ya no muestra ningún canal de progresión típico.

La figura 9 muestra la distribución del índice de refracción a lo largo de la lente oftálmica. Aquí, el índice de refracción aumenta desde aproximadamente 1,60 desde el centro de la lente hasta aproximadamente $n = 1,70$ en la zona inferior.

10 La figura 10a y la figura 10b representan los efectos del uso del material GRIN con su especial distribución del índice de refracción, así como el diseño de la superficie de forma libre para esta lente oftálmica progresiva GRIN, en la anchura del canal de progresión en comparación con la lente oftálmica progresiva de comparación. Las figuras muestran la distribución de los errores astigmáticos residuales en la trayectoria óptica para el usuario de las gafas para un usuario de gafas con una prescripción puramente esférica.

15 En este ejemplo resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 8,5 mm a 12 mm, es decir, en aproximadamente un 41 por ciento.

20 La figura 11a y la figura 11b muestran secciones transversales a través de las distribuciones de astigmatismo residual de la figura 10a y de la figura 10b. Aquí, la relación convencional entre el aumento del efecto y el aumento lateral así inducido del error astigmático (similar a la relación del poder refringente superficial medio con respecto al astigmatismo superficial según el teorema de Minkwitz) resulta especialmente clara. El aumento del astigmatismo en las proximidades del centro del canal de progresión ($y = -5$ mm) es considerablemente menor para la lente oftálmica progresiva GRIN, a pesar de que se produzca el mismo aumento del efecto que en la lente oftálmica progresiva de comparación. Análogamente al primer ejemplo de realización, resulta una clara desviación del gradiente de astigmatismo de la lente oftálmica progresiva GRIN con respecto al comportamiento previsto por Minkwitz: el canal de progresión se amplía considerablemente.

30 La figura 12 compara el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación con la ayuda de una representación de alturas de flecha. La figura 12b muestra las alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización y, en comparación, la figura 12a muestra las alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación, en cada caso con respecto a un sistema de coordenadas inclinado en $-7,02^\circ$ sobre un eje horizontal (es decir, el eje vertical Y de este sistema está inclinado en $-7,02^\circ$ con respecto a la vertical espacial).

Tercer ejemplo de realización

Todas las figuras siguientes corresponden temáticamente y en orden a las del segundo ejemplo de realización.

35 El tercer ejemplo de realización muestra dos lentes progresivas en las que se tiene en cuenta el movimiento de convergencia del ojo al mirar objetos a distancias intermedias y a distancias cercanas situados en línea recta delante del ojo del usuario de las gafas. Este movimiento de convergencia provoca que los puntos de visión a través de la superficie delantera de la lente oftálmica, al mirar hacia estos puntos, no se sitúen en una línea recta exactamente perpendicular, sino en una línea vertical inclinada hacia la nariz que se denomina línea de visión principal.

40 Por este motivo, en estos ejemplos, el centro del campo cercano también se desplaza horizontalmente en dirección nasal. Los ejemplos se calculan de manera que esta línea principal de visión en la zona de progresión se encuentre en el medio entre las líneas de la superficie delantera para las que el error astigmático residual es de 0,5 dpt (véanse a este respecto las figuras 16a y 16b).

45 La figura 13a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria óptica para el usuario de unas gafas progresivas para una lente oftálmica progresiva de comparación de un material estándar (índice de refracción $n = 1,600$) con una superficie de forma libre en el lado del objeto. La superficie trasera es de nuevo una superficie esférica con un radio de 120 mm y el punto de giro del ojo está 4 mm por encima del centro geométrico de la lente oftálmica progresiva de comparación con una distancia horizontal de 25,5 mm con respecto a la superficie trasera. La lente oftálmica progresiva de comparación tiene un espesor central de 2,5 mm y, 2 mm por debajo del centro geométrico, un efecto prismático de 1,0 cm/m, base 270° . La superficie trasera está inclinada de manera que, al mirar horizontalmente en línea recta, el haz del lado del ojo sea perpendicular a la superficie trasera.

50 Al mirar horizontalmente en línea recta (es decir, para un punto de visión a través de la lente de 4 mm por encima del centro geométrico), el usuario de las gafas obtiene un efecto medio de 0 dpt y, al mirar a través del punto 13 mm por

debajo del centro geométrico y -2,5 mm horizontalmente en dirección nasal, un efecto medio de 2,00 dpt. Es decir, en una longitud de 17 mm, el efecto de la lente aumenta, por consiguiente, en aproximadamente 2,00 dpt.

5 La figura 13b muestra la distribución del poder refringente superficial medio para un índice de refracción $n=1,600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente oftálmica progresiva de comparación del tercer ejemplo de realización que provoca una distribución del efecto medio como la que se representa en la figura 13a. La curvatura de superficie aumenta constantemente de arriba abajo y el poder refringente superficial medio aumenta de 5,00 dpt en $y =$ aproximadamente 2 mm a 6,50 dpt en $y = -12$ mm.

10 Las figuras 14a y 14b muestran la reproducción de la lente oftálmica progresiva de comparación utilizando un material GRIN (lente oftálmica progresiva fabricada según la invención). La figura 14a muestra la distribución del efecto esférico medio. De la comparación de las figuras 13a y 14a se deduce que el aumento del efecto a lo largo de la línea principal de visión en la zona de progresión es el mismo. En la figura 14b se representa el desarrollo del poder refringente superficial medio de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN. Para poder comparar las curvaturas medias con la figura 13b, no se utilizó en el cálculo el material GRIN, sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n = 1,600$.

15 La comparación de la figura 13b con la figura 14b muestra que la forma de la superficie de forma libre ha variado considerablemente: el poder refringente superficial medio (calculado con $n = 1,600$) disminuye ahora de forma desigual desde el centro de la lente hacia el borde, para aumentar de nuevo hacia la periferia.

20 La figura 15 muestra la distribución del índice de refracción a lo largo de la lente oftálmica. Aquí el índice de refracción aumenta de aproximadamente 1,48 en la zona superior de la lente a aproximadamente 1,70 en la zona inferior en la altura $y = -13$.

25 Las figuras 16a y 16b representan los efectos del uso del material GRIN con su distribución especial del índice de refracción, así como el diseño de la superficie de forma libre para esta lente oftálmica progresiva GRIN en la anchura del canal de progresión en comparación con la lente oftálmica progresiva de comparación. Las figuras muestran la distribución de los errores astigmáticos residuales en la trayectoria óptica del usuario de gafas para un usuario de gafas con una prescripción puramente esférica.

En este tercer ejemplo resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 6 mm a 9 mm, es decir, en aproximadamente un 50 por ciento.

30 La figura 17a y la figura 17b muestran secciones transversales a través de las distribuciones de astigmatismo residual de la figura 16a y de la figura 16b. Estas figuras ilustran de nuevo la relación convencional entre el aumento del efecto y el aumento lateral así inducido del error astigmático (similar a la relación del poder refringente superficial medio con respecto al astigmatismo de superficie según el teorema de Minkwitz). El aumento del error astigmático residual en las proximidades del centro del canal de progresión ($y = -5$ mm) es de nuevo significativamente menor para la lente oftálmica progresiva GRIN, a pesar de que se produce el mismo aumento de efecto que en la lente oftálmica progresiva de comparación.

35 La figura 18 compara el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con el contorno de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación con la ayuda de una representación de alturas de flecha. La figura 18b muestra las alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización y, en comparación, la figura 40 18a muestra las alturas de flecha de la superficie delantera de la lente oftálmica progresiva de comparación, en cada caso con respecto a un plano perpendicular a la dirección de visión horizontalmente recta.

Cuarto ejemplo de realización

A continuación se describen los pasos fundamentales de un procedimiento según la invención para el diseño de una lente oftálmica progresiva GRIN:

45 En un primer paso se registran los datos individuales del usuario o de la aplicación del usuario de las gafas. Esto incluye la adquisición de datos (fisiológicos) que puedan asignarse al usuario de las gafas y el registro de las condiciones de uso en las que el usuario de las gafas llevará las gafas progresivas a diseñar.

50 Los datos fisiológicos del usuario de gafas comprenden, por ejemplo, el error de refracción y la capacidad de acomodación que se determinan por medio de una medición de refracción y se incluyen regularmente en la prescripción en forma de los valores de prescripción para la esfera, el cilindro, la posición axial, el prisma y la base, así como la adición. Además se determina, por ejemplo, la distancia de las pupilas y el tamaño de las pupilas en diferentes condiciones de luz. Se tiene en cuenta, por ejemplo, la edad del usuario de las gafas que influye en la capacidad de acomodación prevista y en el tamaño de las pupilas. El comportamiento de convergencia de los ojos resulta de la distancia de las pupilas para diferentes direcciones de visión y distancias de objeto.

5 Las condiciones de uso incluyen el ajuste de las lentes oftálmicas delante del ojo (normalmente en relación con el punto de giro del ojo) y las distancias de objeto para las diferentes direcciones de visión en las que el usuario de las gafas debe ver con nitidez. El ajuste del usuario de las gafas frente al ojo puede determinarse, por ejemplo, mediante el registro de la distancia del vértice corneal, la inclinación hacia delante y la inclinación lateral. Estos datos se incorporan a un modelo de distancia de objeto para el que se puede realizar un procedimiento de trazado de rayos.

10 En un paso posterior se determina, sobre la base de estos datos adquiridos, un borrador de diseño para la lente oftálmica con una pluralidad de puntos de evaluación. El borrador de diseño comprende las propiedades ópticas teóricas para la lente oftálmica progresiva en el punto de evaluación respectivo. Las propiedades teóricas incluyen, por ejemplo, la desviación tolerable del efecto esférico y del efecto astigmático prescritos, teniendo en cuenta la adición, y concretamente distribuida a lo largo de toda la lente oftálmica progresiva, según lo preestablecido por la disposición de la lente oftálmica frente al ojo y el modelo de distancia tomado como base.

15 Se determina además un diseño de geometrías de superficie para la superficie delantera y la superficie trasera, así como un diseño para una distribución del índice de refracción a lo largo de toda la lente oftálmica. Por ejemplo, la superficie delantera puede elegirse como una superficie esférica y la superficie trasera puede elegirse como una superficie progresiva. Ambas superficies también podrían elegirse en principio como superficies esféricas. La elección de la geometría de superficie para el primer diseño generalmente sólo determina a continuación la convergencia (velocidad y éxito) del procedimiento de optimización aplicado. Por ejemplo, hay que partir de la base de que la superficie delantera debe conservar la forma esférica y que la superficie trasera debe tener la forma de una superficie progresiva.

20 En un paso posterior se determina el desarrollo de los rayos principales a través de la pluralidad de puntos de evaluación. En su caso puede determinarse un frente de onda local para cada uno de los rayos principales en un entorno del rayo principal respectivo.

25 En un paso posterior se establecen las propiedades ópticas mencionadas de la lente oftálmica en los puntos de evaluación mediante la determinación de una influencia de la lente oftálmica en la trayectoria de los rayos principales y, en su caso, en los frentes de onda locales en un entorno del punto de evaluación respectivo.

En un paso posterior se evalúa el diseño de la lente oftálmica en dependencia de las propiedades ópticas determinadas y de los datos individuales del usuario. La superficie trasera y la distribución del índice de refracción del diseño de la lente oftálmica se modifican con respecto a la minimización de una función objetivo

$$F = \sum_m P_m \sum_n W_n (T_n - A_n)^2$$

30 siendo P_m la ponderación en el punto de evaluación m , W_n la ponderación de la propiedad óptica n , T_n el valor teórico de la propiedad óptica n en el respectivo punto de evaluación m y A_n el valor real de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m .

35 Dicho de otro modo, la geometría de superficie local de la superficie trasera y el índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la respectiva trayectoria del rayo visual se modifican mediante los puntos de evaluación hasta que se cumple un criterio de interrupción.

La lente oftálmica progresiva GRIN diseñada de este modo según la invención puede fabricarse de acuerdo con este diseño.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento implementado por ordenador para el diseño de una lente oftálmica progresiva con una superficie delantera y con una superficie trasera, con un índice de refracción espacialmente variable, configurándose la superficie delantera y/o la superficie trasera como una superficie progresiva configurada como una superficie de forma libre,

- calculándose las propiedades ópticas de la lente oftálmica progresiva mediante un procedimiento de cálculo del haz en una pluralidad de puntos de evaluación a través de los cuales los rayos de visión atraviesan la lente oftálmica progresiva,
- determinándose al menos una propiedad óptica teórica para la lente oftálmica progresiva en el punto de evaluación respectivo,

caracterizado por que

- se determina un diseño para la lente oftálmica progresiva, comprendiendo el diseño una representación de una geometría local de la superficie de forma libre y un índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la trayectoria óptica respectiva a través de los puntos de evaluación,
- modificándose el diseño de la lente oftálmica progresiva con respecto a una aproximación de la al menos una propiedad óptica teórica de la lente oftálmica progresiva, comprendiendo la modificación una modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie de forma libre y del índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la trayectoria óptica respectiva a través de los puntos de evaluación, comprendiendo la al menos una propiedad óptica teórica un astigmatismo residual teórico de la lente oftálmica progresiva.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la modificación del diseño de la lente oftálmica progresiva se lleva a cabo con respecto a una minimización de una función objetivo

$$F = \sum_m P_m \sum_n W_n (T_n - A_n)^2$$

siendo P_m la ponderación en el punto de evaluación m , W_n la ponderación de la propiedad óptica n , T_n el valor teórico de la propiedad óptica n en el respectivo punto de evaluación m y representando A_n el valor real de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m .

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que

- para al menos un punto de evaluación se predetermina un astigmatismo residual teórico que es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en el caso de una lente oftálmica progresiva de comparación con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente oftálmica progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable y por que
- la modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la respectiva trayectoria del rayo visual a través de los puntos de evaluación sólo se interrumpe cuando el astigmatismo residual alcanzado para la lente oftálmica progresiva diseñada en el al menos un punto de evaluación es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en la lente oftálmica progresiva de comparación.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente oftálmica progresiva en la respectiva trayectoria del rayo visual a través de los puntos de evaluación se realiza con la condición de que el valor máximo del astigmatismo residual de la lente oftálmica progresiva sea menor que el valor máximo del astigmatismo residual de una lente oftálmica progresiva de comparación con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente oftálmica progresiva de comparación frente al ojo del usuario de la lente oftálmica progresiva, pero con un índice de refracción espacialmente no variable.

5. Programa informático con un código de programa para la realización de todos los pasos del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, cuando el programa informático se carga en un ordenador y/o se ejecuta en un ordenador.

6. Soporte legible por ordenador con un programa informático según la reivindicación 5.

7. Procedimiento para la fabricación de una lente oftálmica progresiva diseñada mediante la aplicación de un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4 por medio de un procedimiento aditivo.
8. Ordenador con un procesador y con una memoria, en la que se almacena un programa informático según la reivindicación 5, diseñado para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4.

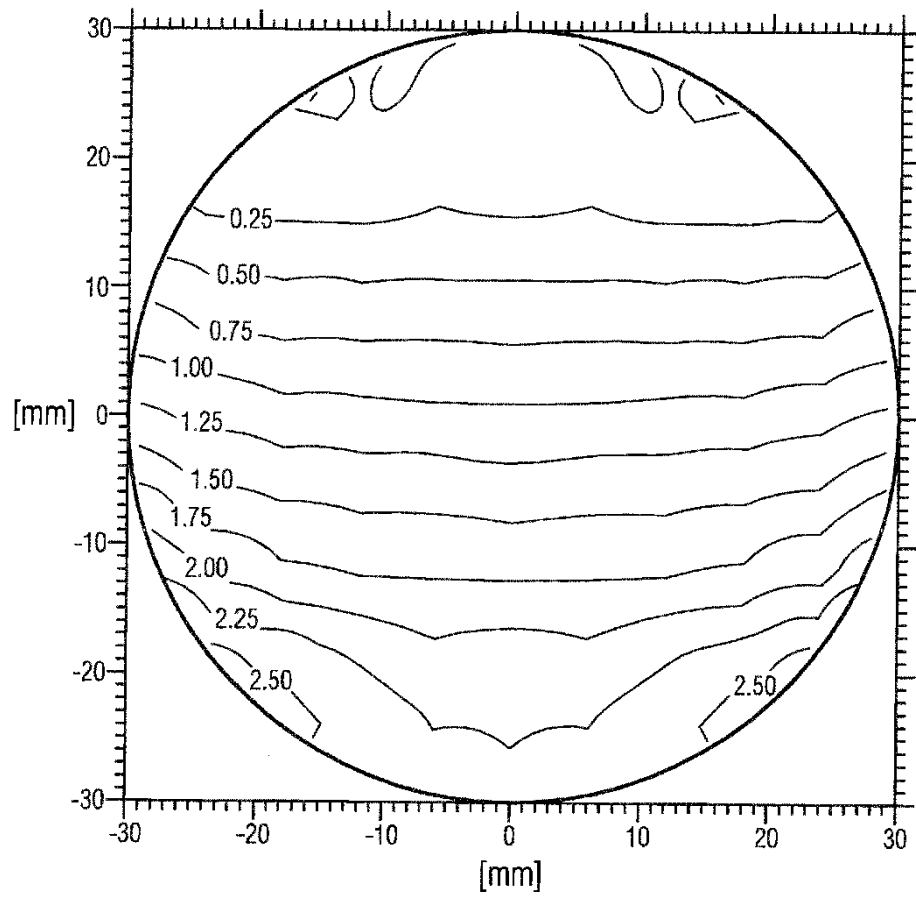


Fig. 1a

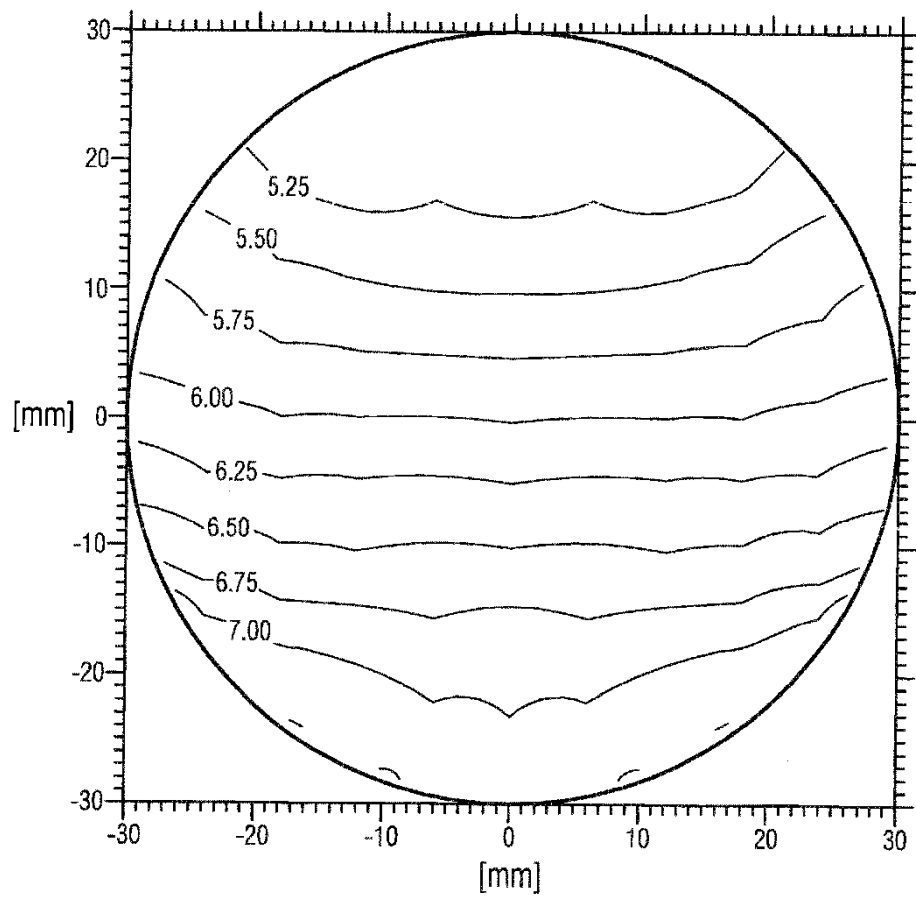


Fig. 1b

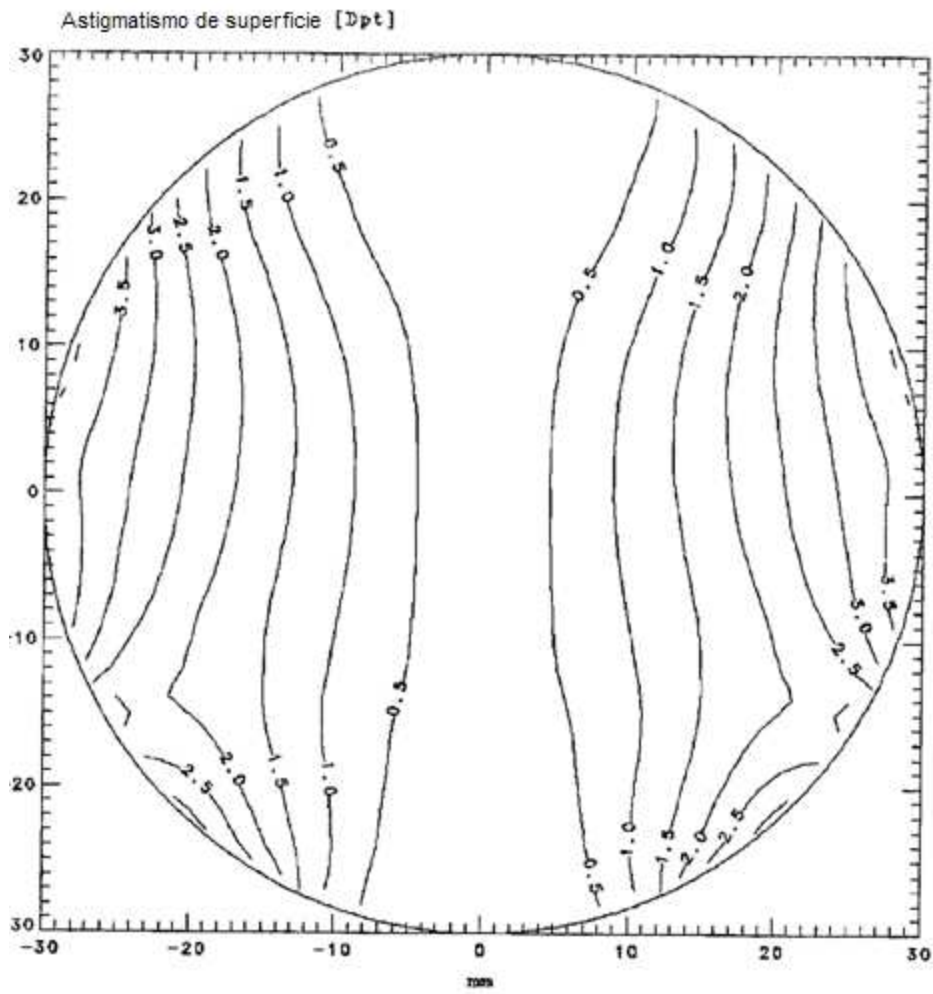


Fig. 1c

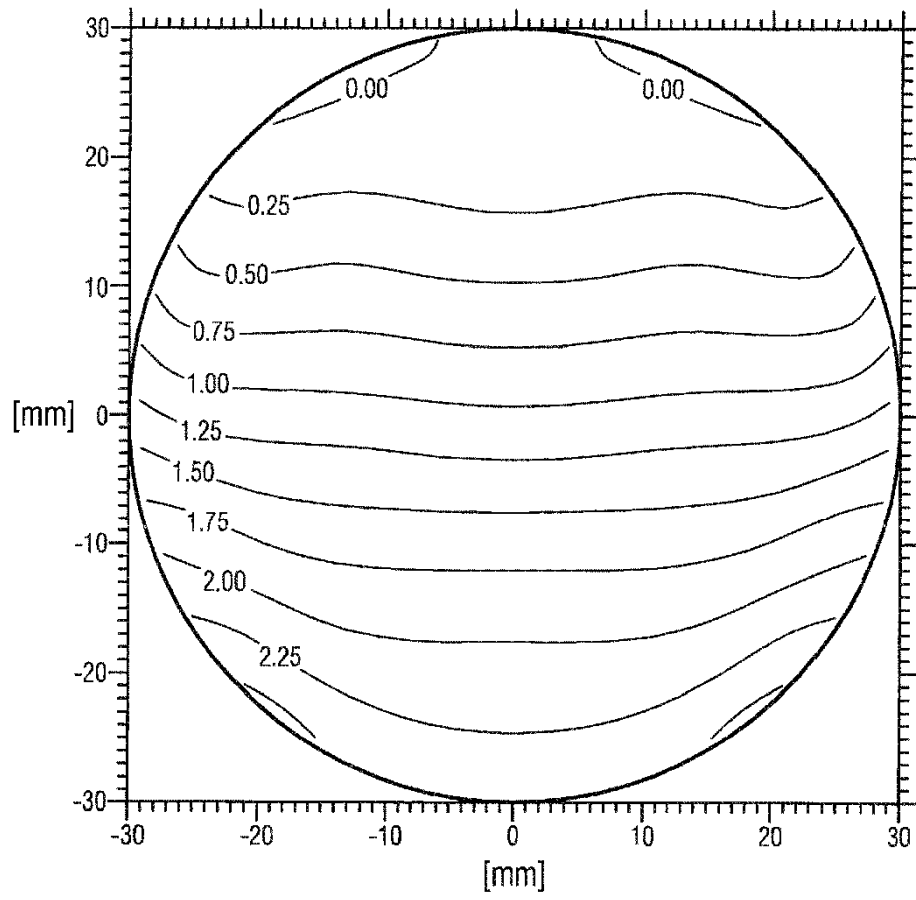


Fig. 2a

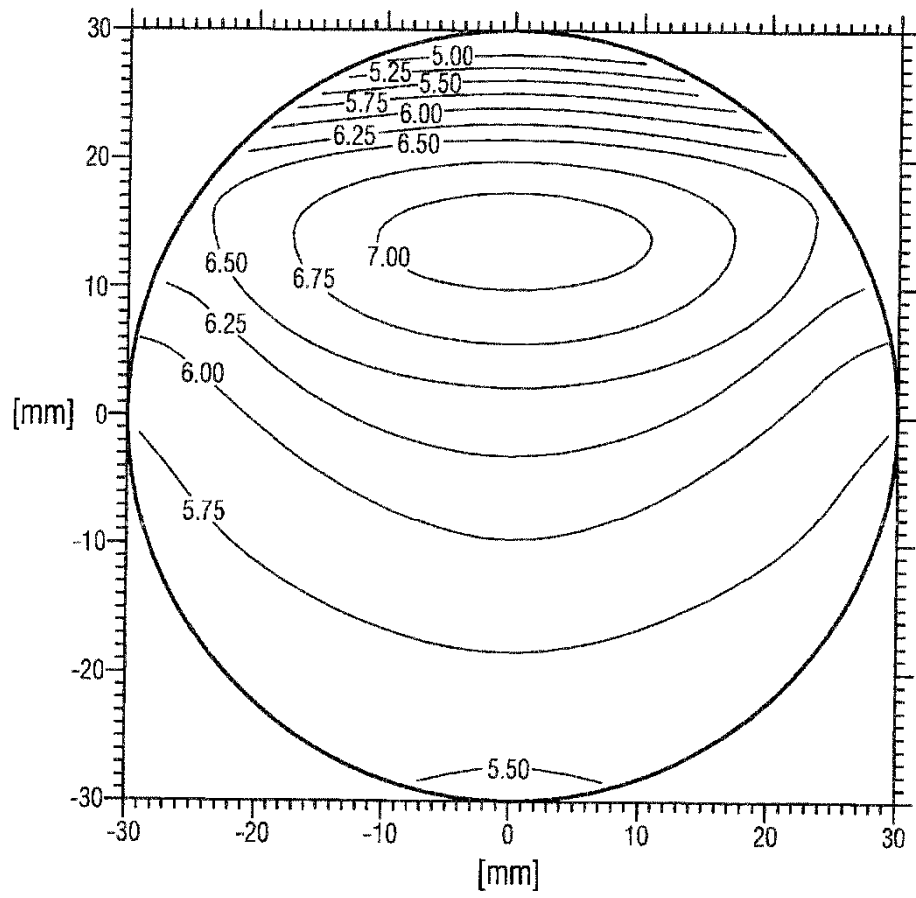


Fig. 2b

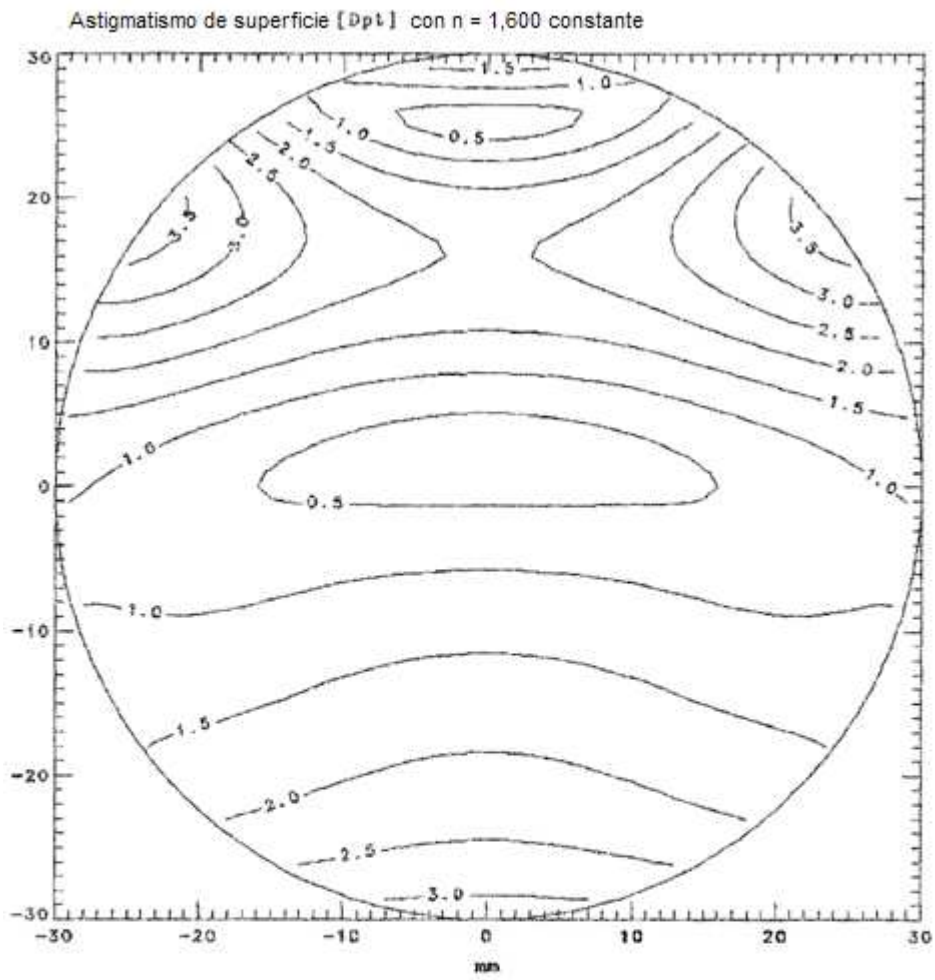


Fig. 2c

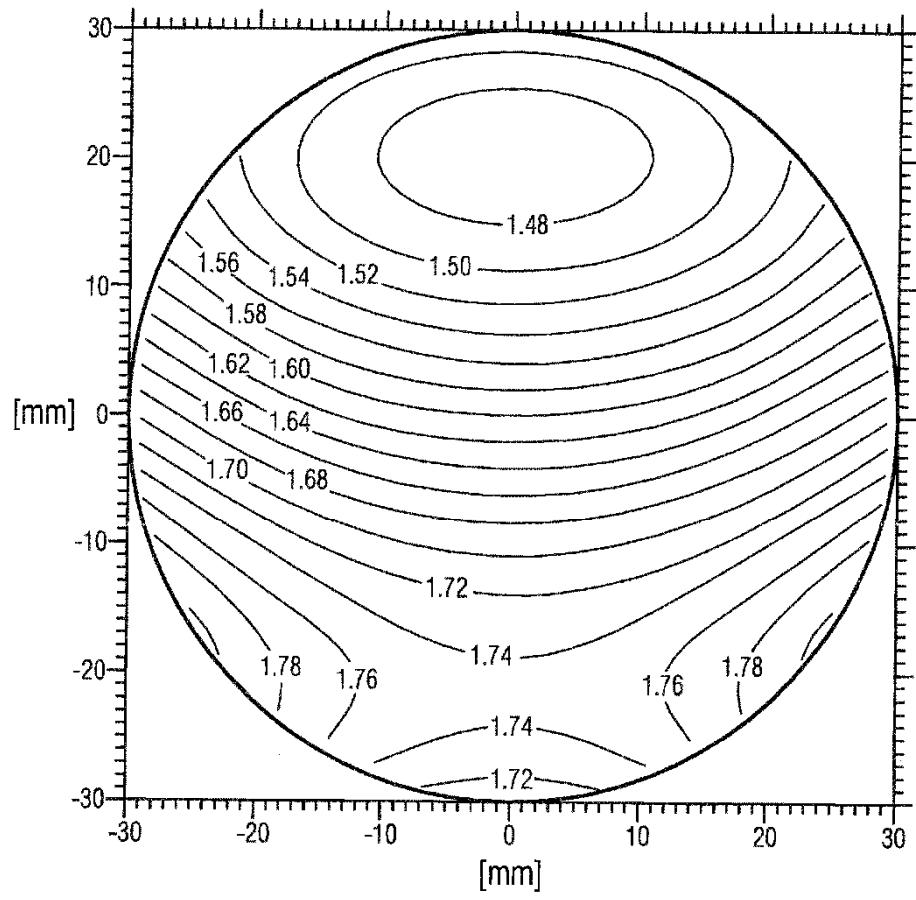
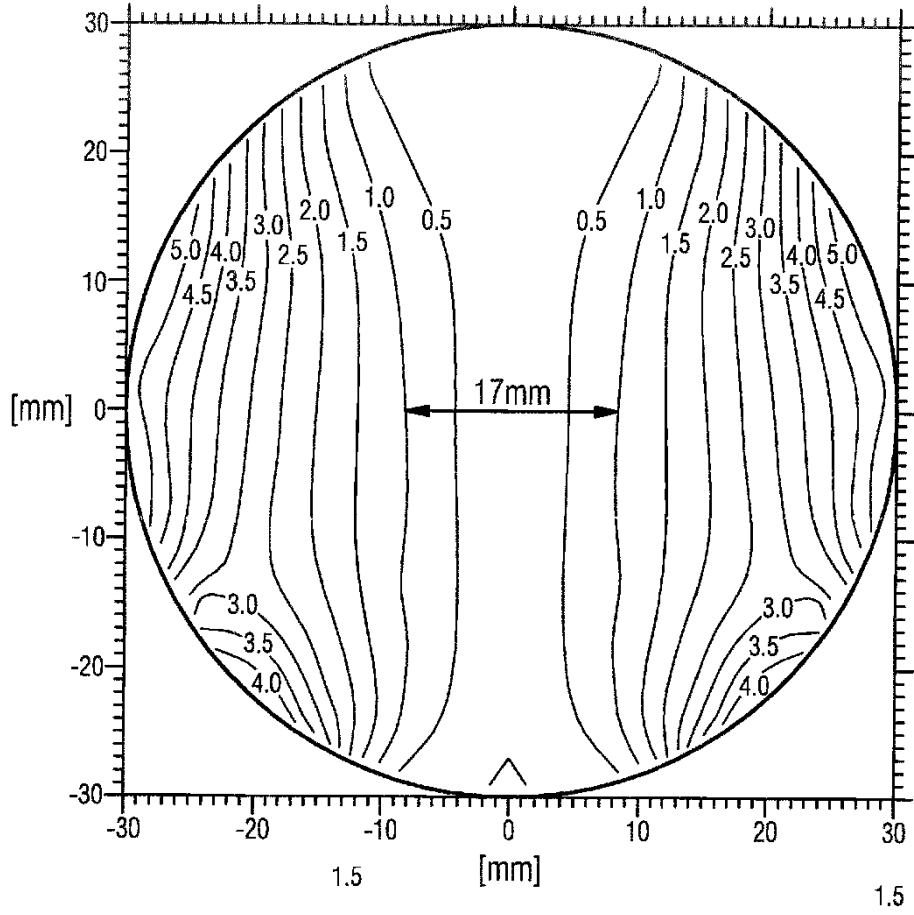


Fig. 3



3.5

Fig. 4a

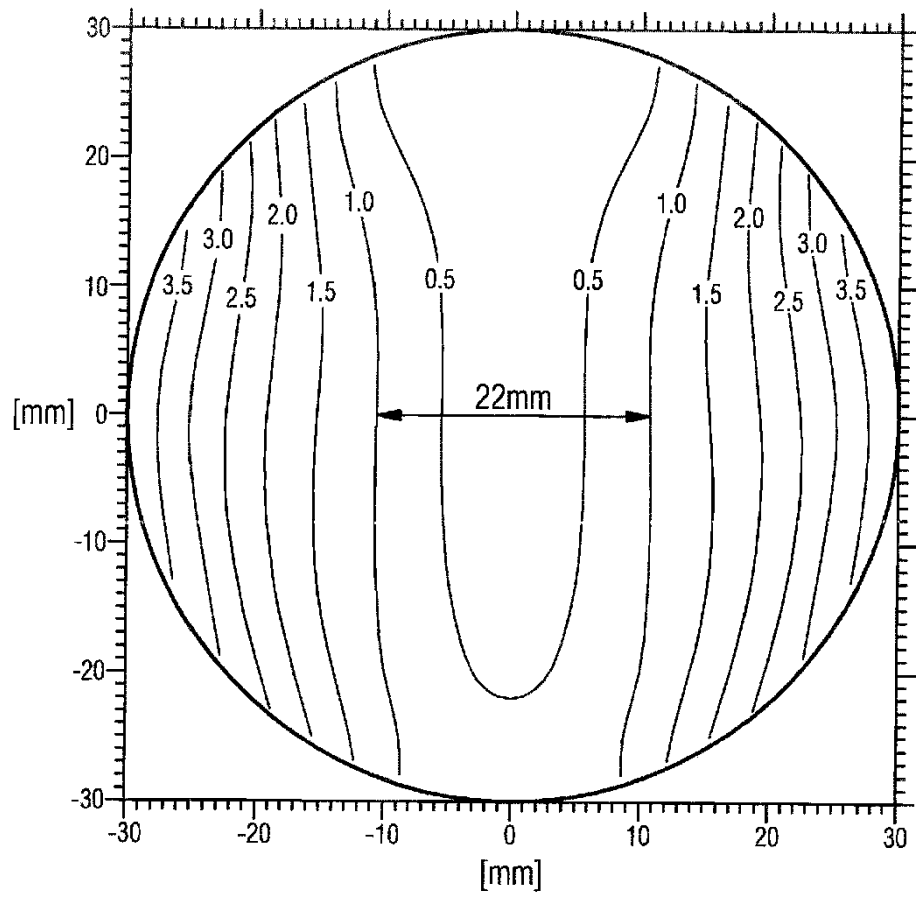


Fig. 4b

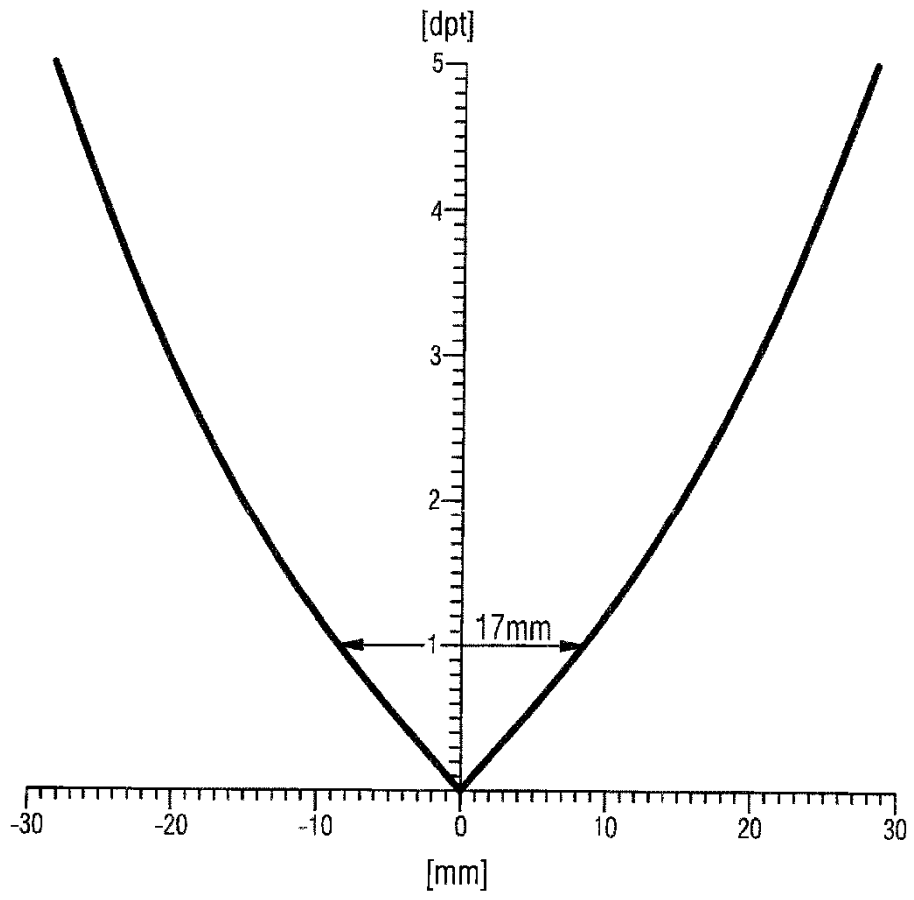


Fig. 5a

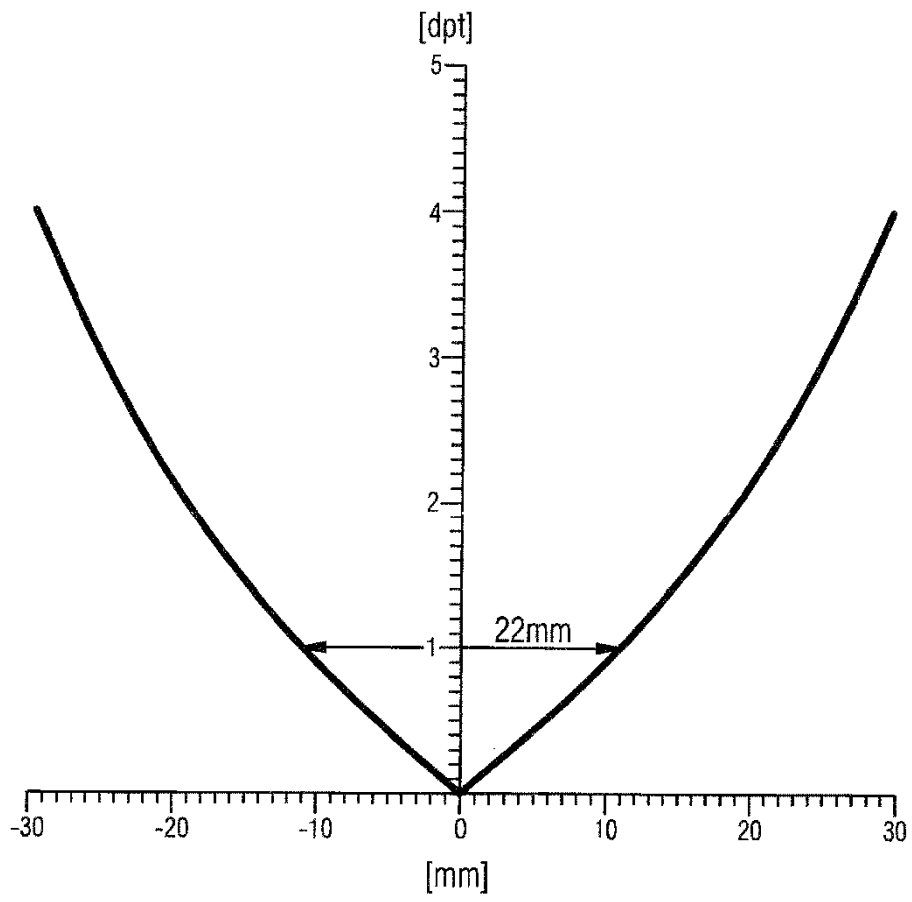


Fig. 5b

ES 2 914 628 T3

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Y												
26		3,1912	3,2086	3,2609	3,3481	3,4702	3,6269	3,8176	4,0419			
24		2,7257	2,7430	2,7952	2,8822	3,0040	3,1602	3,3502	3,5732	3,8284	4,1145	
22		2,2971	2,3144	2,3665	2,4535	2,5754	2,7316	2,9216	3,1446	3,4000	3,6870	4,0048
20		1,9050	1,9223	1,9746	2,0618	2,1840	2,3408	2,5315	2,7555	3,0123	3,3015	3,6226
18		1,5490	1,5665	1,6190	1,7068	1,8297	1,9874	2,1794	2,4052	2,6646	2,9572	3,2829
16		1,2290	1,2467	1,2997	1,3881	1,5121	1,6712	1,8651	2,0935	2,3563	2,6533	2,9845
14		0,9451	0,9630	1,0166	1,1061	1,2313	1,3922	1,5886	1,8202	2,0871	2,3893	2,7269
12		0,6977	0,7158	0,7701	0,8608	0,9877	1,1508	1,3500	1,5854	1,8570	2,1649	2,5096
10		0,4869	0,5053	0,5605	0,6524	0,7813	0,9469	1,1495	1,3891	1,6658	1,9800	2,3320
8		0,3133	0,3320	0,3880	0,4815	0,6125	0,7810	0,9873	1,2314	1,5136	1,8343	2,1940
6		0,1773	0,1963	0,2533	0,3484	0,4817	0,6533	0,8635	1,1123	1,4003	1,7277	2,0952
4		0,0794	0,0987	0,1567	0,2535	0,3893	0,5641	0,7783	1,0321	1,3259	1,6602	2,0355
2		0,0201	0,0398	0,0988	0,1974	0,3357	0,5139	0,7322	0,9911	1,2908	1,6320	2,0152
0		0,0001	0,0201	0,0803	0,1807	0,3216	0,5031	0,7257	0,9896	1,2953	1,6434	2,0345
-2		0,0200	0,0404	0,1016	0,2039	0,3474	0,5324	0,7593	1,0282	1,3399	1,6948	2,0939
-4		0,0806	0,1013	0,1637	0,2678	0,4140	0,6025	0,8336	1,1076	1,4252	1,7870	2,1939
-6		0,1826	0,2037	0,2672	0,3732	0,5221	0,7140	0,9494	1,2284	1,5519	1,9206	2,3353
-8		0,3268	0,3483	0,4129	0,5209	0,6725	0,8679	1,1075	1,3916	1,7210	2,0965	2,5189
-10		0,5140	0,5359	0,6016	0,7117	0,8659	1,0648	1,3086	1,5979	1,9332	2,3155	2,7457
-12		0,7452	0,7675	0,8345	0,9464	1,1032	1,3055	1,5536	1,8481	2,1895	2,5788	3,0168
-14		1,0211	1,0438	1,1120	1,2258	1,3853	1,5909	1,8434	2,1431	2,4909	2,8875	3,3338
-16		1,3430	1,3661	1,4355	1,5512	1,7132	1,9223	2,1792	2,4846	2,8391	3,2435	3,6986
-18		1,7122	1,7357	1,8062	1,9237	2,0884	2,3011	2,5627	2,8740	3,2358	3,6488	4,1138
-20		2,1301	2,1539	2,2253	2,3447	2,5122	2,7287	2,9952	3,3129	3,6825	4,1051	4,5814
-22		2,5976	2,6217	2,6941	2,8152	2,9854	3,2058	3,4775	3,8019	4,1801	4,6133	5,1027
-24		3,1159	3,1402	3,2136	3,3363	3,5091	3,7333	4,0103	4,3416	4,7290	5,1742	
-26		3,6862	3,7108	3,7850	3,9093	4,0844	4,3120	4,5940	4,9322			

Fig. 6a

ES 2 914 628 T3

Y	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
26		4,4873	4,5072	4,5668	4,6660	4,8044	4,9815	5,1967	5,4492			
24		3,8230	3,8430	3,9031	4,0031	4,1426	4,3213	4,5387	4,7939	5,0863	5,4149	
22		3,2067	3,2269	3,2875	3,3883	3,5291	3,7096	3,9293	4,1877	4,4839	4,8173	5,1870
20		2,6430	2,6634	2,7245	2,8262	2,9684	3,1508	3,3730	3,6345	3,9348	4,2731	4,6488
18		2,1350	2,1555	2,2172	2,3198	2,4634	2,6477	2,8725	3,1372	3,4415	3,7847	4,1662
16		1,6841	1,7048	1,7670	1,8707	2,0156	2,2018	2,4290	2,6969	3,0050	3,3529	3,7400
14		1,2905	1,3114	1,3742	1,4787	1,6251	1,8131	2,0426	2,3134	2,6251	2,9773	3,3696
12		0,9533	0,9744	1,0376	1,1431	1,2907	1,4804	1,7121	1,9856	2,3006	2,6567	3,0537
10		0,6708	0,6920	0,7558	0,8621	1,0109	1,2022	1,4358	1,7117	2,0297	2,3893	2,7904
8		0,4408	0,4622	0,5265	0,6335	0,7834	0,9761	1,2115	1,4896	1,8101	2,1728	2,5775
6		0,2611	0,2827	0,3473	0,4550	0,6059	0,7999	1,0369	1,3168	1,6396	2,0050	2,4128
4		0,1292	0,1509	0,2159	0,3243	0,4760	0,6711	0,9095	1,1911	1,5158	1,8835	2,2941
2		0,0429	0,0646	0,1300	0,2389	0,3915	0,5876	0,8272	1,1103	1,4367	1,8065	2,2193
0		0,0000	0,0219	0,0876	0,1970	0,3503	0,5473	0,7880	1,0724	1,4004	1,7719	2,1869
-2		-0,0012	0,0208	0,0868	0,1967	0,3506	0,5485	0,7902	1,0758	1,4052	1,7783	2,1952
-4		0,0377	0,0598	0,1261	0,2365	0,3910	0,5896	0,8323	1,1190	1,4497	1,8244	2,2431
-6		0,1154	0,1376	0,2041	0,3149	0,4700	0,6694	0,9131	1,2009	1,5329	1,9091	2,3295
-8		0,2307	0,2530	0,3197	0,4310	0,5867	0,7868	1,0314	1,3203	1,6536	2,0314	2,4537
-10		0,3826	0,4049	0,4720	0,5836	0,7399	0,9409	1,1864	1,4765	1,8112	2,1906	2,6149
-12		0,5702	0,5926	0,6599	0,7720	0,9290	1,1307	1,3773	1,6686	2,0049	2,3861	2,8127
-14		0,7927	0,8153	0,8828	0,9954	1,1531	1,3557	1,6034	1,8962	2,2341	2,6175	3,0464
-16		1,0495	1,0721	1,1400	1,2532	1,4116	2,0000	1,8642	2,1586	2,4985	2,8842	3,3159
-18		1,3398	1,3626	1,4308	1,5446	1,7039	1,9088	2,1592	2,4555	2,7977	3,1861	3,6210
-20		1,6631	1,6860	1,7547	1,8692	2,0295	2,2358	2,4881	2,7865	3,1314	3,5230	3,9617
-22		2,0188	2,0419	2,1111	2,2264	2,3880	2,5959	2,8503	3,1514	3,4994	3,8948	4,3380
-24		2,4062	2,4295	2,4993	2,6157	2,7788	2,9887	3,2457	3,5499	3,9018	4,3018	
-26		2,8247	2,8482	2,9188	3,0364	3,2014	3,4137	3,6737	3,9818			

Fig. 6b

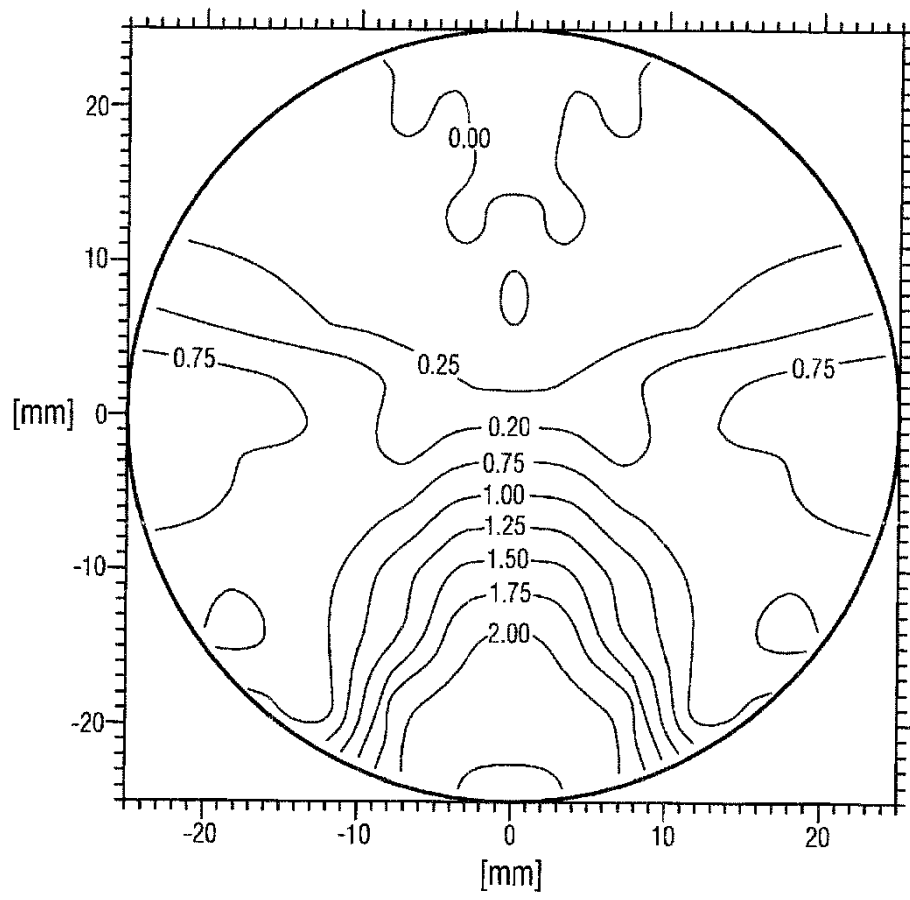


Fig. 7a

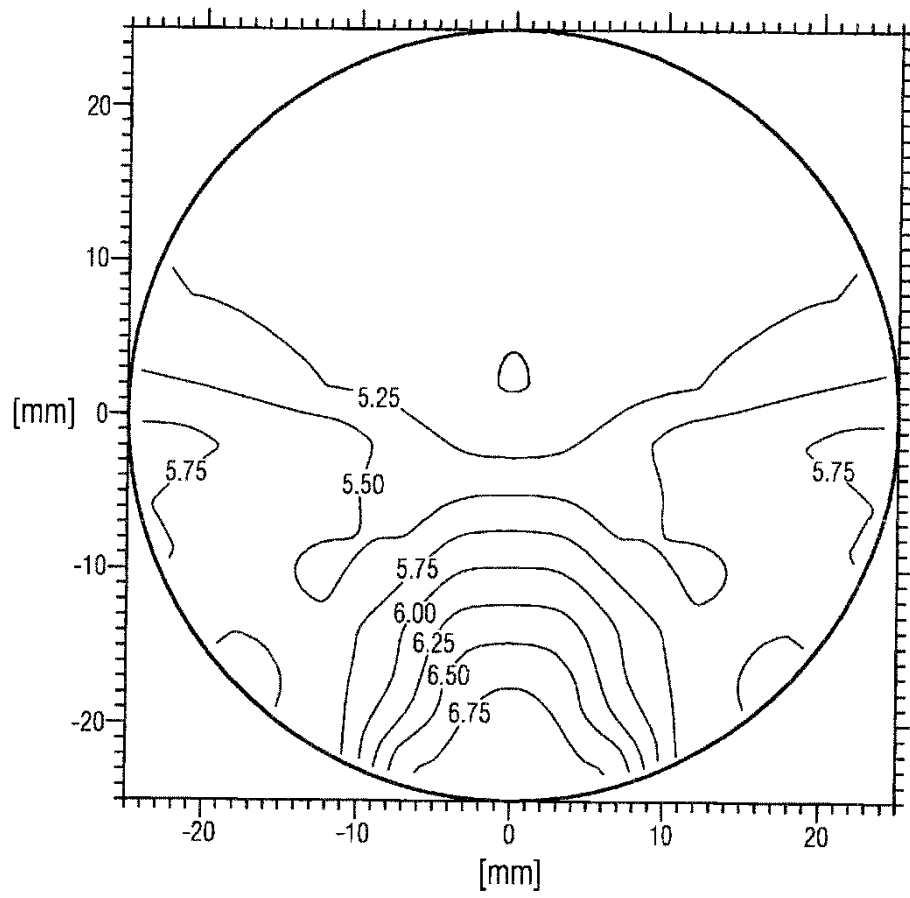


Fig. 7b

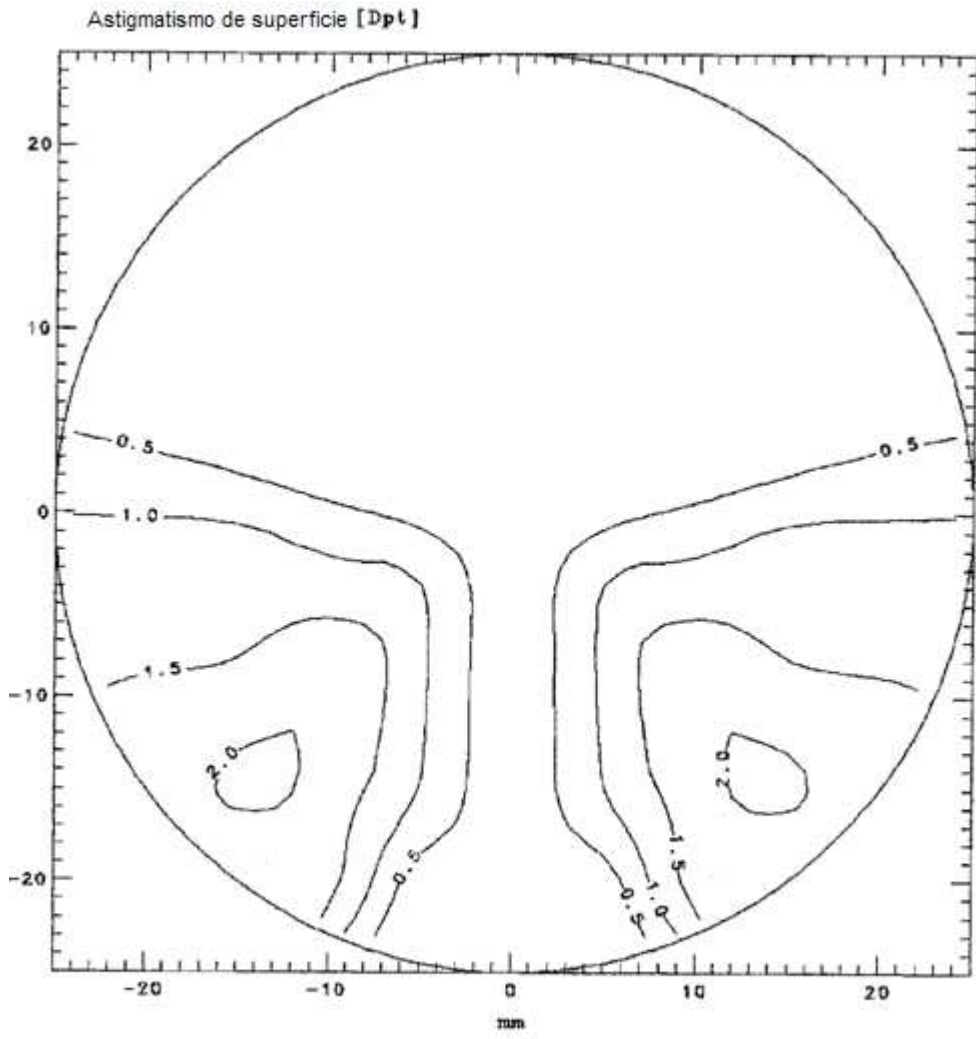


Fig. 7c

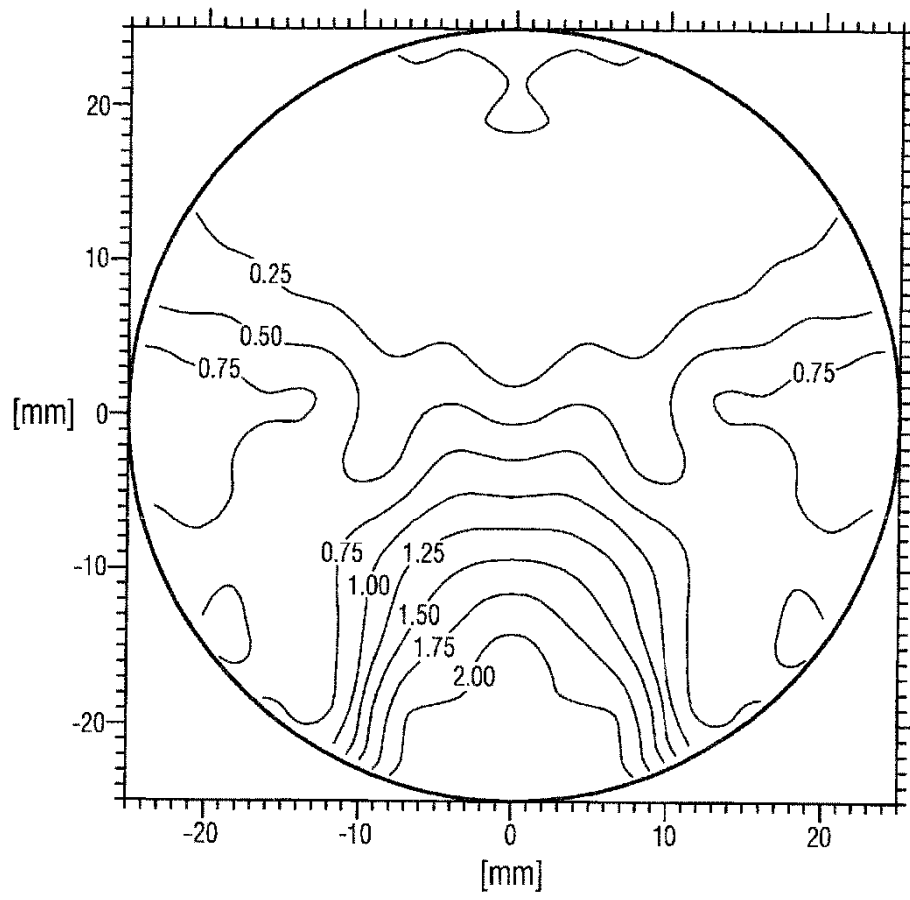


Fig. 8a

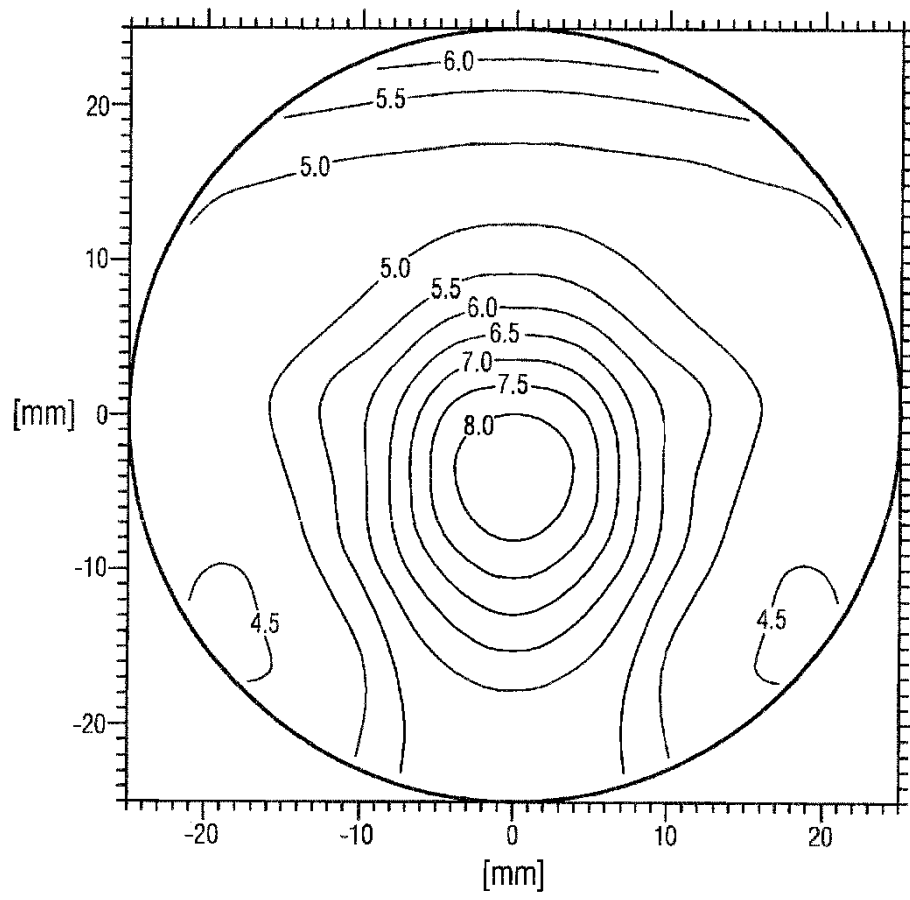


Fig. 8b

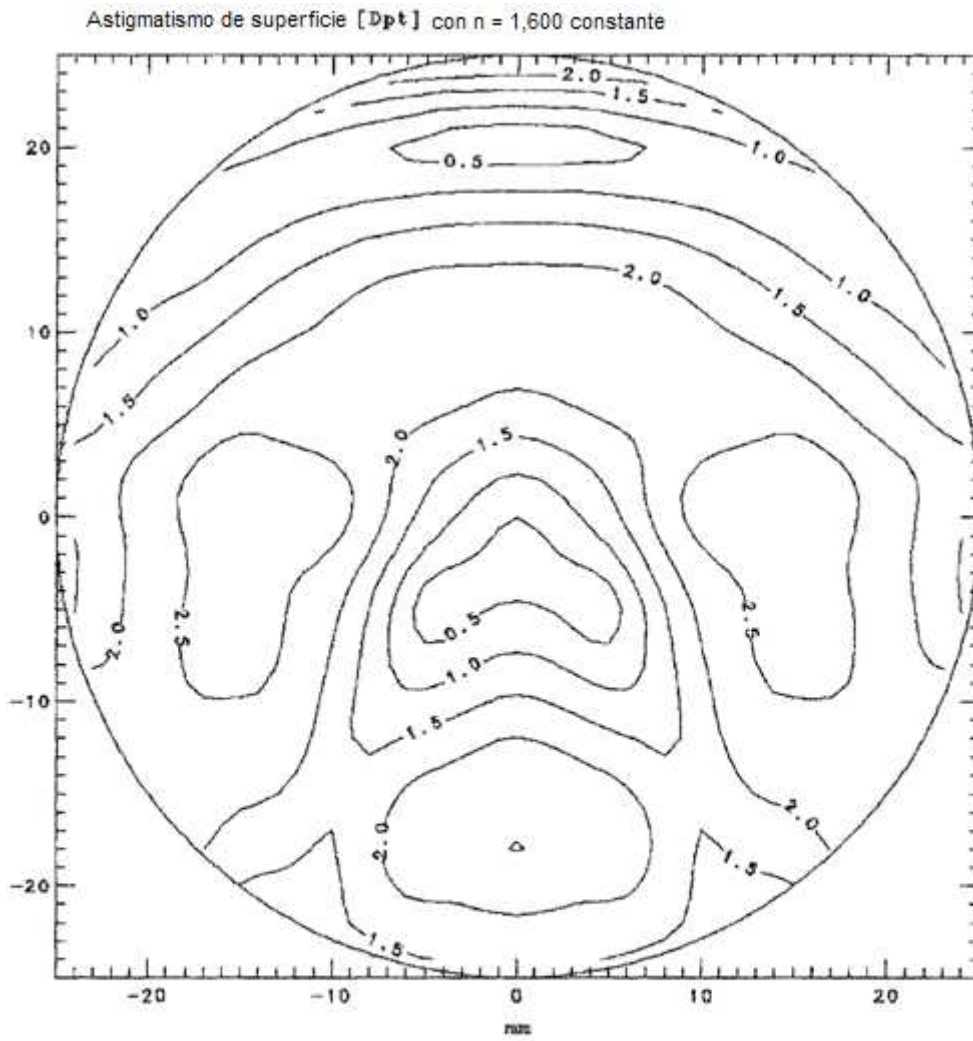


Fig. 8c

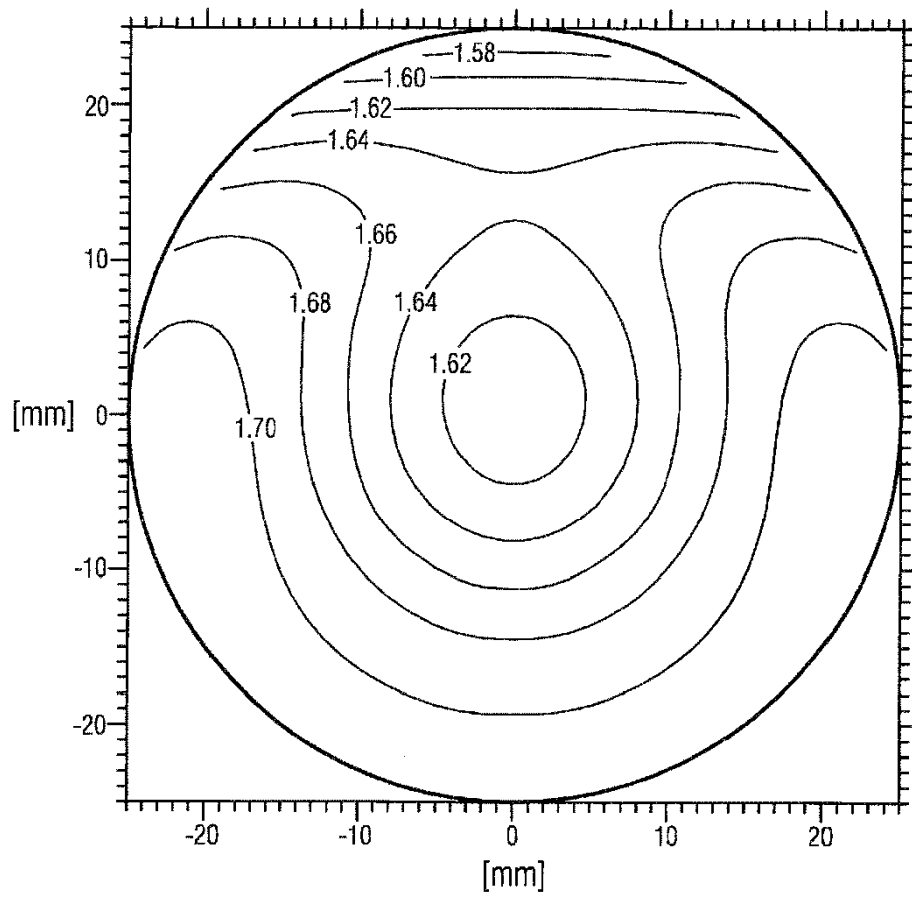


Fig. 9

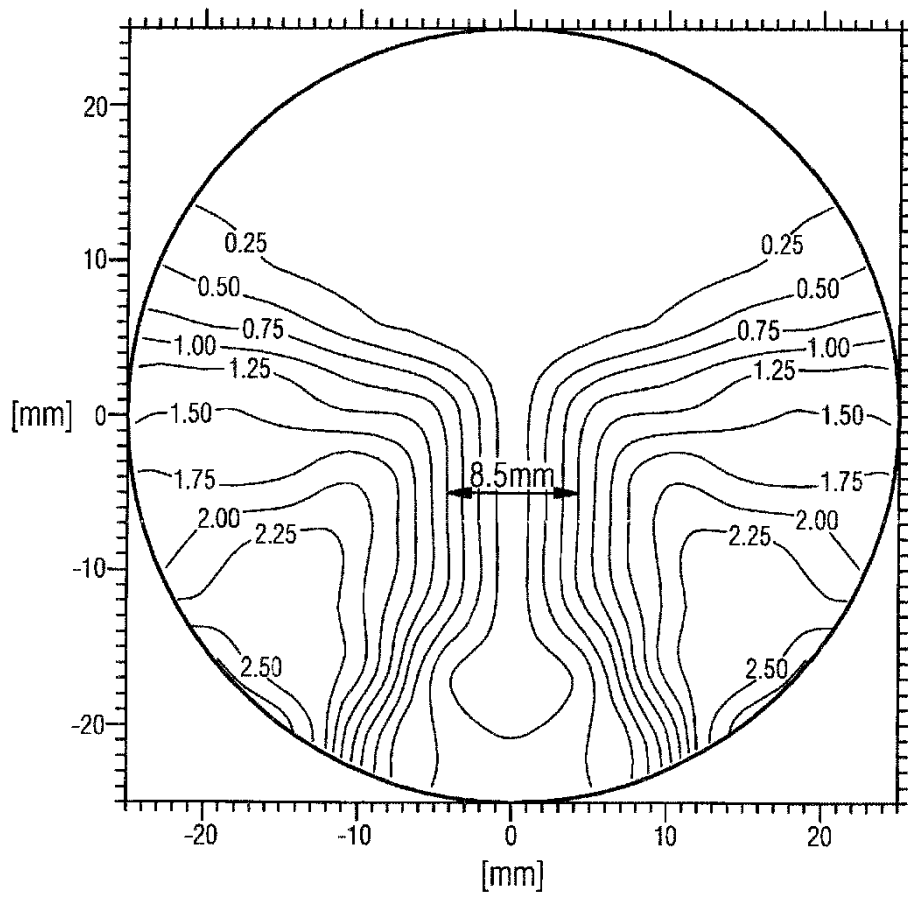


Fig. 10a

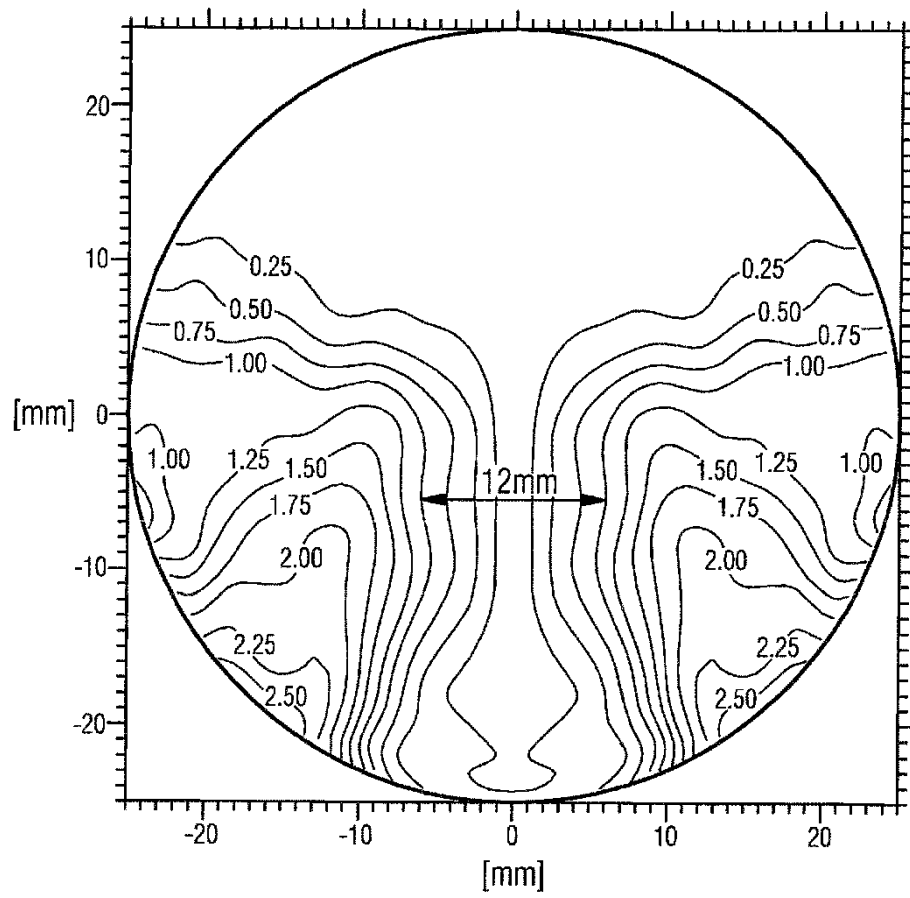


Fig. 10b

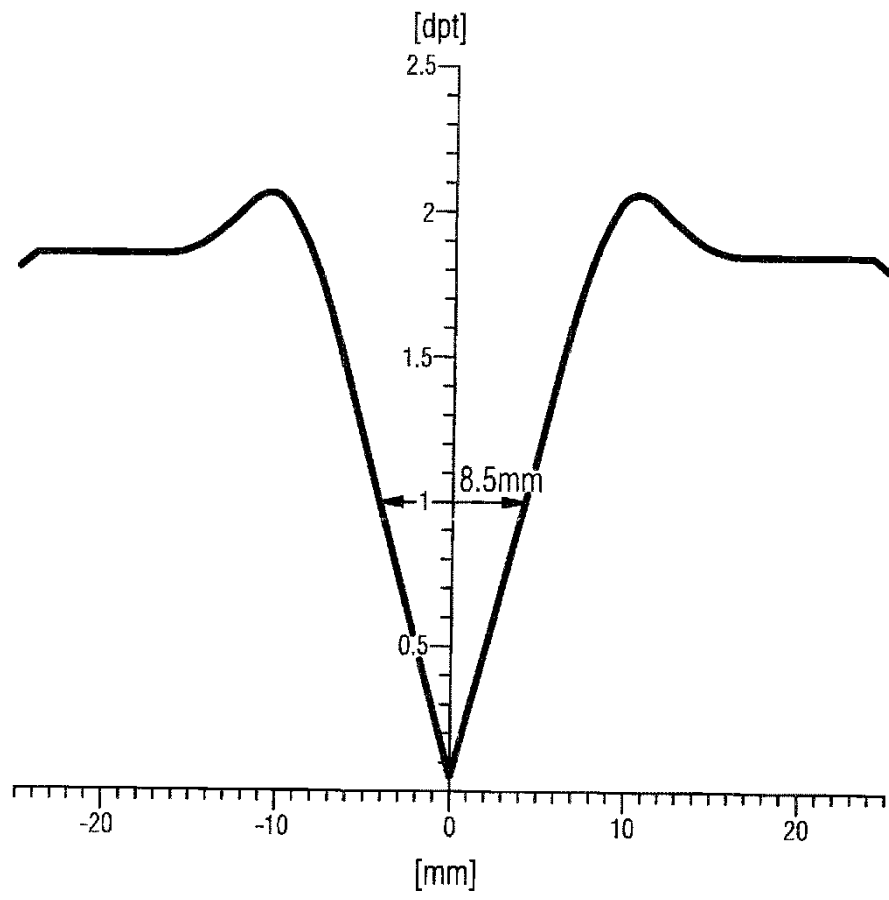


Fig. 11a

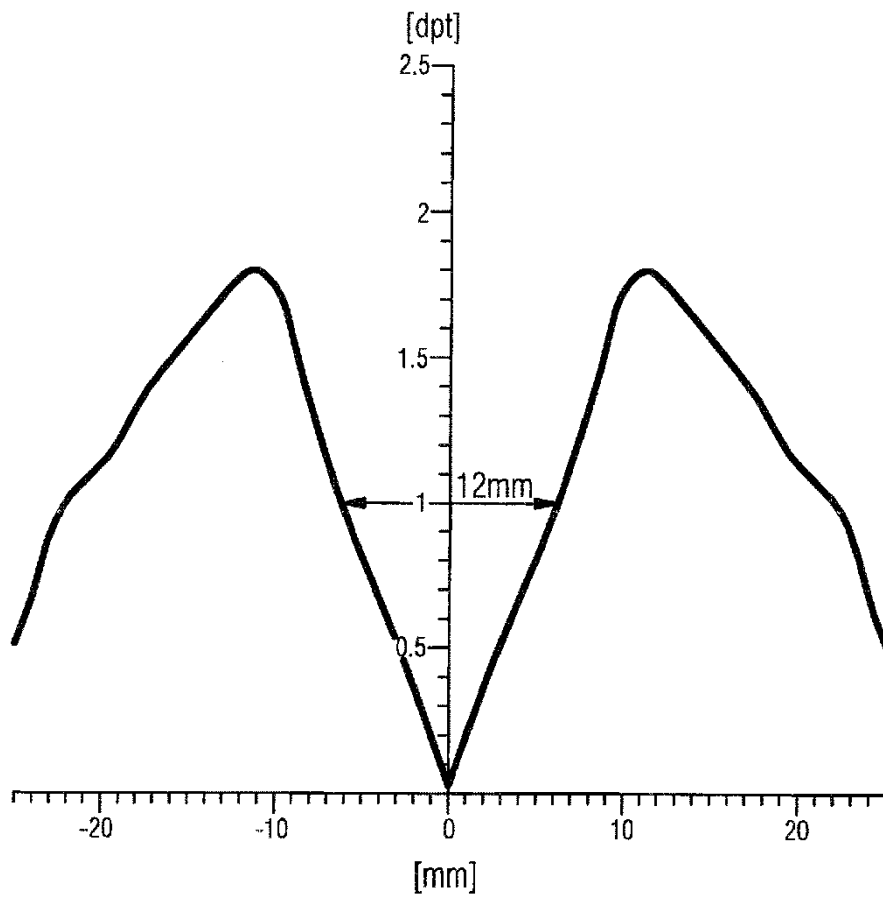


Fig. 11b

X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Y											
20	1,6118	1,6289	1,6802	1,7658	1,8860	2,0408	2,2305	2,4552			
18	1,2747	1,2916	1,3427	1,4280	1,5476	1,7018	1,8907	2,1145	2,3736		
16	0,9732	0,9900	1,0409	1,1258	1,2450	1,3986	1,5868	1,8098	2,0681	2,3618	
14	0,7068	0,7236	0,7743	0,8590	0,9778	1,1308	1,3184	1,5407	1,7982	2,0911	2,4198
12	0,4753	0,4921	0,5426	0,6270	0,7455	0,8981	1,0852	1,3069	1,5636	1,8557	2,1837
10	0,2783	0,2951	0,3455	0,4297	0,5478	0,7001	0,8867	1,1079	1,3641	1,6556	1,9831
8	0,1155	0,1323	0,1826	0,2666	0,3845	0,5365	0,7228	0,9436	1,1994	1,4908	1,8182
6	-0,0132	0,0035	0,0537	0,1375	0,2552	0,4070	0,5931	0,8139	1,0697	1,3612	1,6889
4	-0,1082	-0,0916	-0,0414	0,0424	0,1601	0,3119	0,4982	0,7192	0,9754	1,2676	1,5960
2	-0,1697	-0,1530	-0,1028	-0,0187	0,0992	0,2515	0,4383	0,6602	0,9175	1,2109	1,5406
0	-0,1978	-0,1810	-0,1303	-0,0457	0,0731	0,2263	0,4144	0,6379	0,8971	1,1922	1,5238
-2	-0,1922	-0,1749	-0,1231	-0,0370	0,0835	0,2386	0,4288	0,6545	0,9162	1,2138	1,5477
-4	-0,1520	-0,1341	-0,0804	0,0086	0,1322	0,2901	0,4832	0,7120	0,9767	1,2773	1,6141
-6	-0,0759	-0,0572	-0,0013	0,0912	0,2189	0,3810	0,5782	0,8108	1,0790	1,3830	1,7229
-8	0,0375	0,0569	0,1151	0,2113	0,3437	0,5113	0,7137	0,9509	1,2231	1,5308	1,8743
-10	0,1896	0,2098	0,2703	0,3702	0,5077	0,6810	0,8894	1,1319	1,4091	1,7212	2,0688
-12	0,3821	0,4031	0,4658	0,5695	0,7118	0,8910	1,1054	1,3540	1,6368	1,9543	2,3068
-14	0,6165	0,6382	0,7033	0,8106	0,9578	1,1425	1,3630	1,6179	1,9070	2,2303	2,5881
-16	0,8944	0,9169	0,9842	1,0951	1,2468	1,4368	1,6633	1,9245	2,2200	2,5494	
-18	1,2174	1,2405	1,3096	1,4235	1,5794	1,7748	2,0071	2,2745	2,5761		
-20	1,5870	1,6104	1,6805	1,7965	1,9562	2,1568	2,3952	2,6684			

Fig. 12a

X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Y											
20	2,7057	2,7241	2,7791	2,8707	2,9986	3,1625	3,3620	3,5972			
18	2,2603	2,2790	2,3348	2,4277	2,5570	2,7221	2,9226	3,1579	3,4278		
16	1,8478	1,8670	1,9243	2,0192	2,1511	2,3189	2,5217	2,7586	3,0295	3,3341	
14	1,4648	1,4847	1,5441	1,6421	1,7777	1,9495	2,1560	2,3960	2,6690	2,9748	3,3137
12	1,1096	1,1303	1,1923	1,2943	1,4348	1,6117	1,8232	2,0676	2,3440	2,6522	2,9922
10	0,7816	0,8034	0,8684	0,9753	1,1216	1,3047	1,5222	1,7721	2,0531	2,3648	2,7073
8	0,4826	0,5055	0,5740	0,6862	0,8391	1,0291	1,2533	1,5096	1,7961	2,1123	2,4581
6	0,2157	0,2399	0,3119	0,4298	0,5896	0,7868	1,0182	1,2813	1,5740	1,8951	2,2447
4	-0,0145	0,0108	0,0864	0,2098	0,3764	0,5809	0,8194	1,0893	1,3882	1,7145	2,0681
2	-0,2030	-0,1765	-0,0976	0,0311	0,2041	0,4155	0,6606	0,9367	1,2413	1,5725	1,9298
0	-0,3444	-0,3169	-0,2349	-0,1016	0,0772	0,2945	0,5454	0,8266	1,1357	1,4707	1,8310
-2	-0,4341	-0,4057	-0,3214	-0,1846	-0,0015	0,2204	0,4756	0,7605	1,0725	1,4098	1,7718
-4	-0,4691	-0,4403	-0,3548	-0,2163	-0,0310	0,1935	0,4512	0,7382	1,0516	1,3896	1,7520
-6	-0,4494	-0,4206	-0,3351	-0,1967	-0,0113	0,2136	0,4720	0,7593	1,0725	1,4099	1,7715
-8	-0,3768	-0,3482	-0,2638	-0,1269	0,0567	0,2802	0,5373	0,8232	1,1348	1,4704	1,8299
-10	-0,2544	-0,2263	-0,1435	-0,0092	0,1713	0,3919	0,6460	0,9288	1,2374	1,5703	1,9267
-12	-0,0859	-0,0586	0,0222	0,1531	0,3297	0,5460	0,7959	1,0744	1,3790	1,7083	2,0612
-14	0,1244	0,1508	0,2290	0,3560	0,5280	0,7396	0,9847	1,2583	1,5585	1,8838	2,2330
-16	0,3729	0,3983	0,4734	0,5960	0,7631	0,9699	1,2101	1,4791	1,7747	2,0961	
-18	0,6566	0,6808	0,7528	0,8709	1,0330	1,2350	1,4708	1,7355	2,0273		
-20	0,9729	0,9962	1,0655	1,1796	1,3370	1,5344	1,7661	2,0274			

Fig. 12b

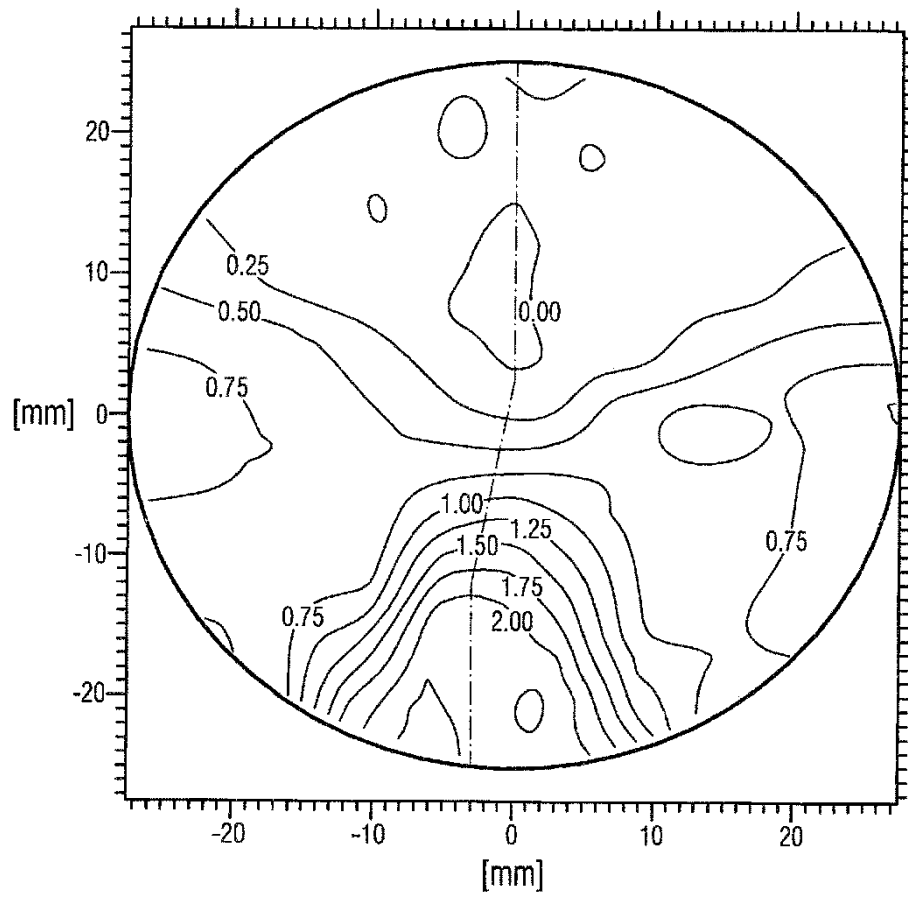


Fig. 13a

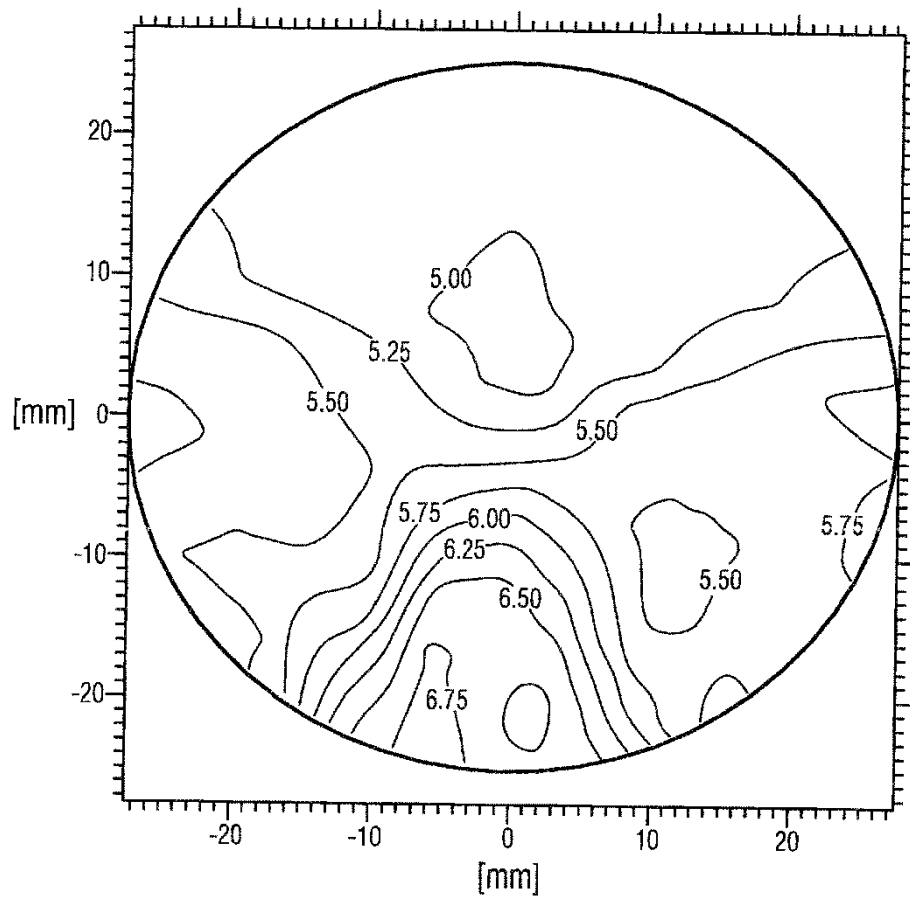


Fig. 13b

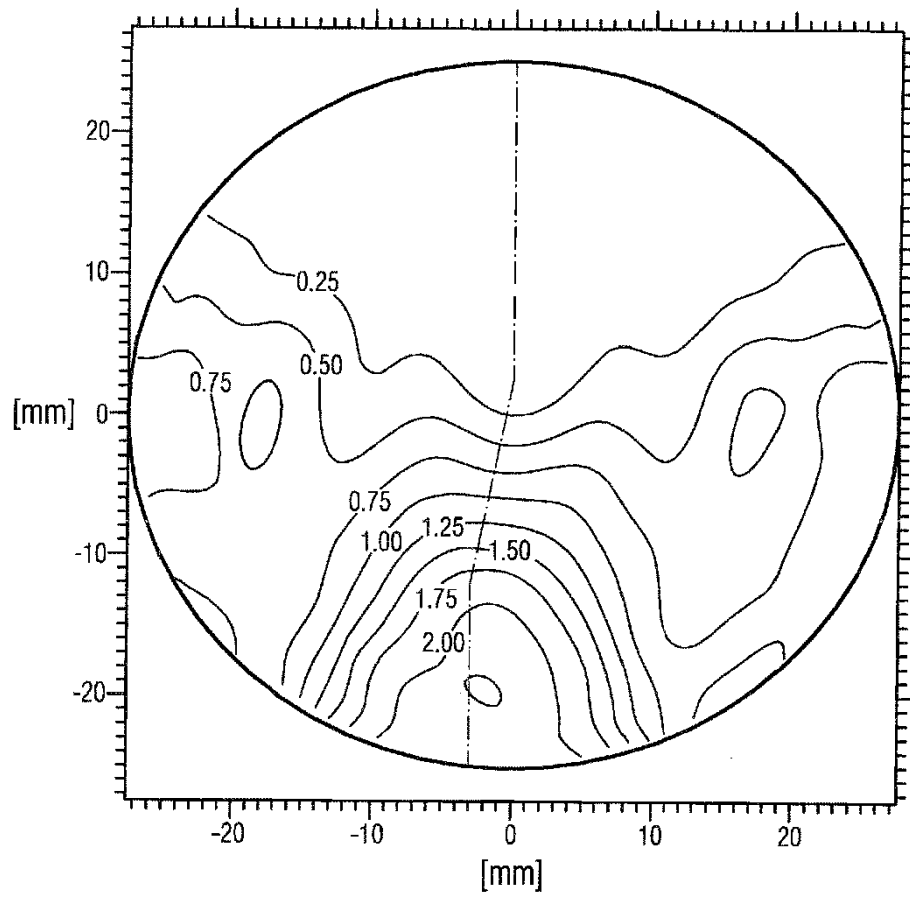


Fig. 14a

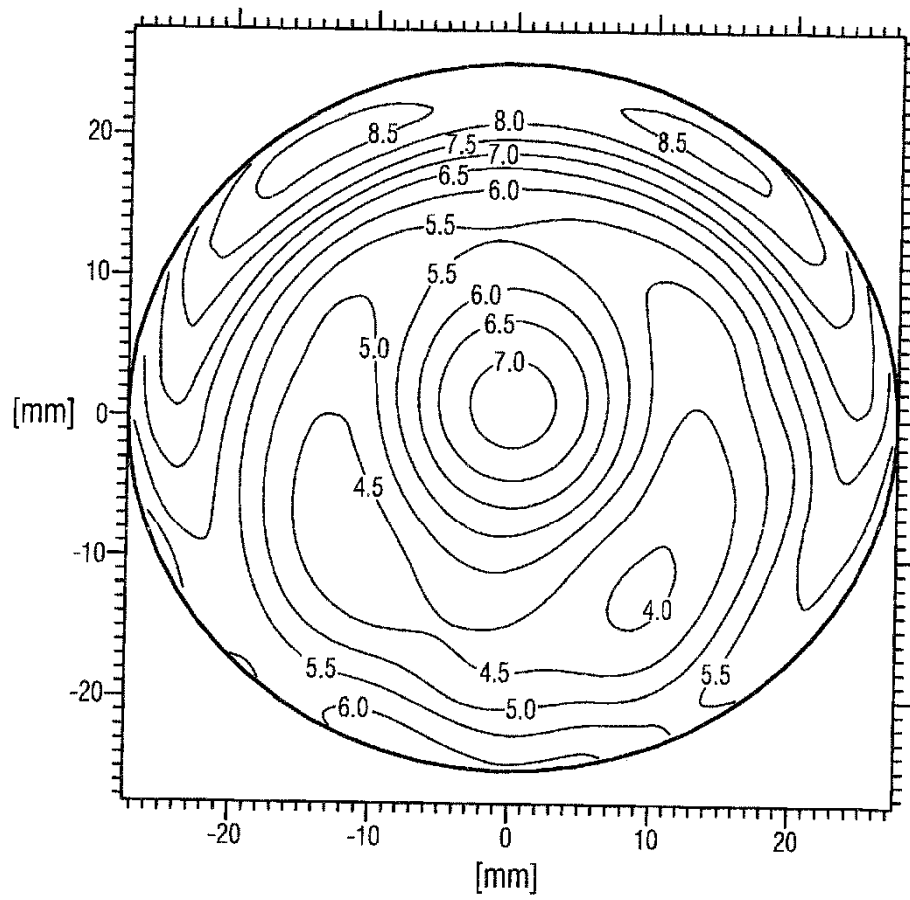


Fig. 14b

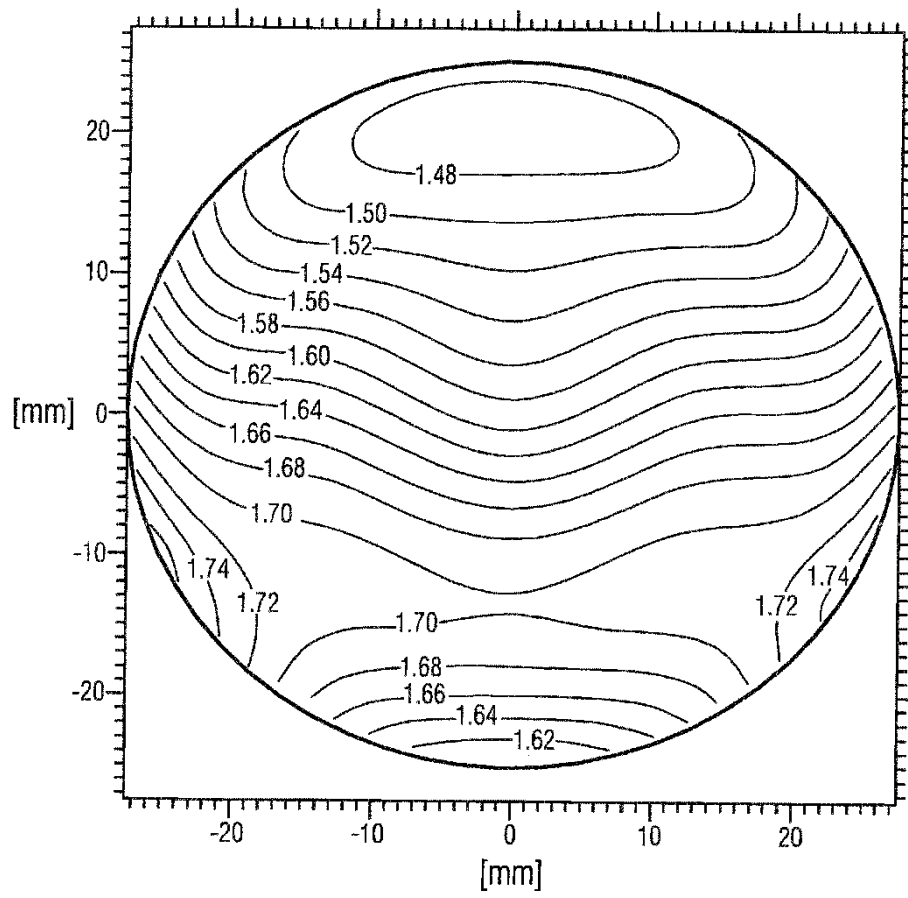


Fig. 15

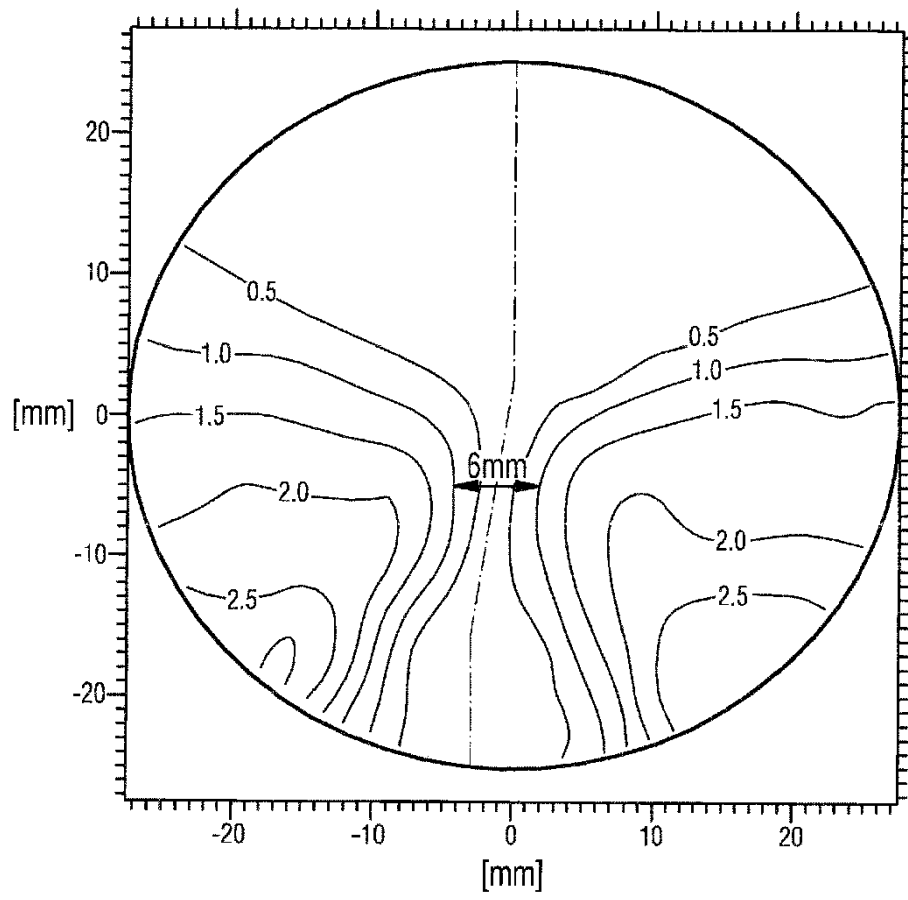


Fig. 16a

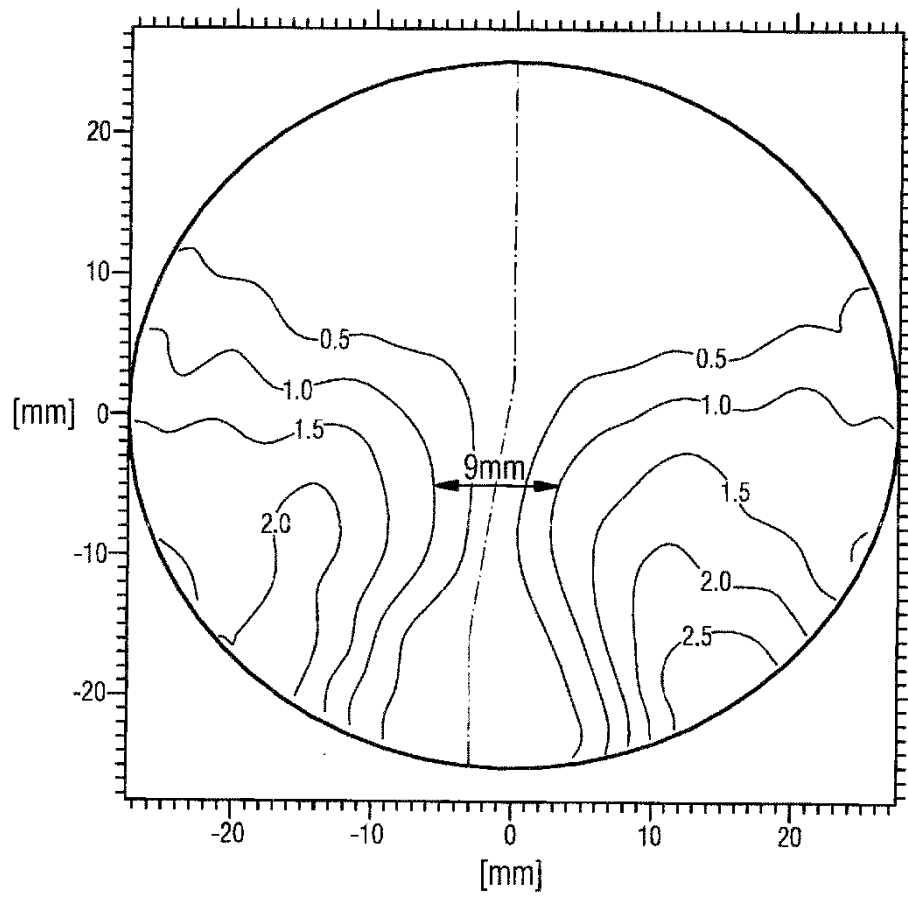


Fig. 16b

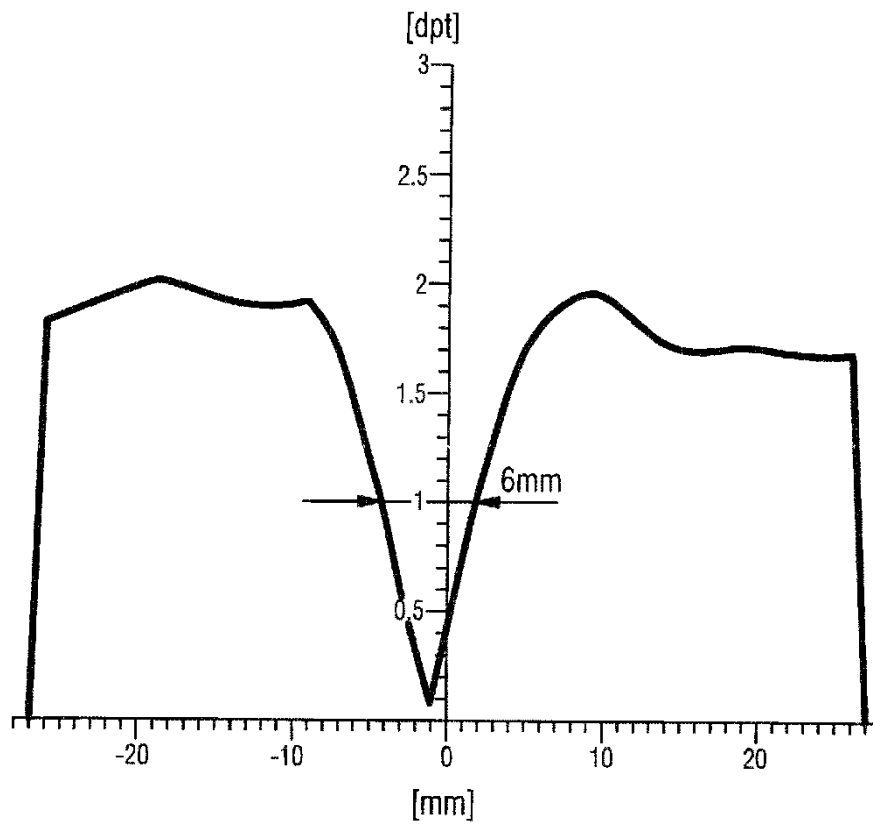


Fig. 17a

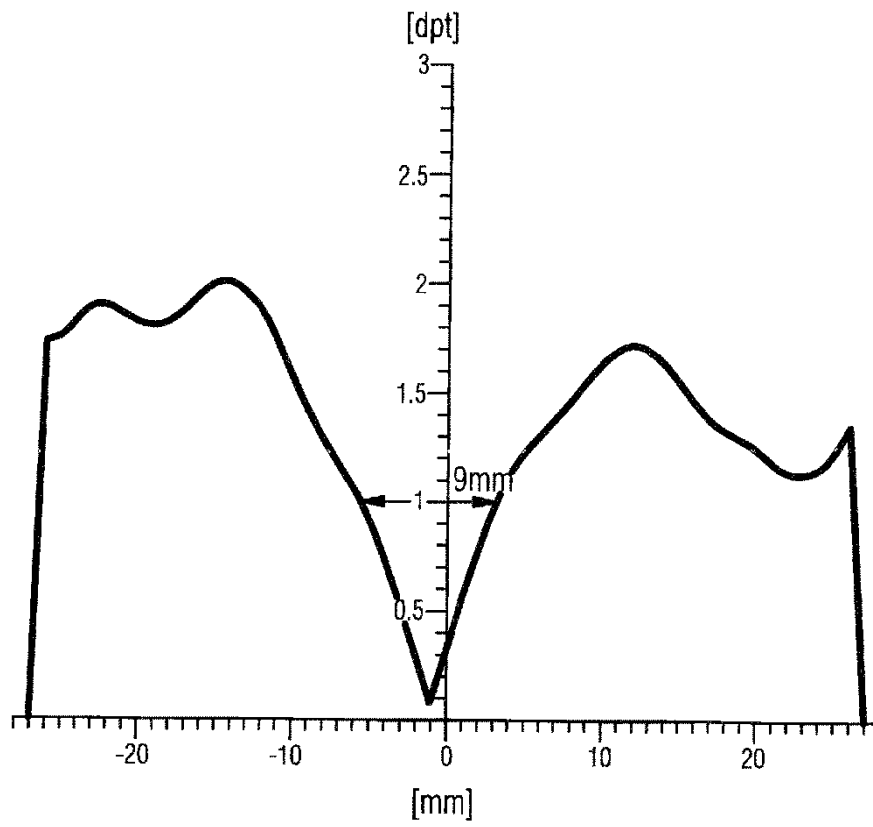


Fig. 17b

X	-22	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
Y																							
24											2,9314												
22							2,8026	2,6737	2,5794	2,5199	2,4941	2,5030	2,5464	2,6243	2,7368								
20					2,7611	2,5634	2,4004	2,2720	2,1782	2,1187	2,0933	2,1022	2,1454	2,2229	2,3349	2,4814	2,6627						
18					2,6252	2,3934	2,1966	2,0344	1,9066	1,8131	1,7538	1,7285	1,7375	1,7805	1,8571	1,9591	2,1150	2,2956	2,5110				
16					2,5584	2,2925	2,0617	1,8557	1,7042	1,5769	1,4838	1,4247	1,3995	1,4085	1,4513	1,5281	1,6390	1,7843	1,9641	2,1787	2,4283		
14					2,5605	2,2604	1,9955	1,7655	1,5702	1,4093	1,2825	1,1897	1,1309	1,1145	1,1572	1,2337	1,3442	1,4899	1,6680	1,8817	2,1305	2,4150	
12					2,6319	2,2970	1,9977	1,7337	1,5045	1,3098	1,1494	1,0230	0,9306	0,8719	0,8499	0,8555	0,8979	0,9740	1,0841	1,2282	1,4067	1,6198	1,8580
10					2,4028	2,0585	1,7700	1,5067	1,2762	1,0840	0,9240	0,7981	0,7060	0,6475	0,6224	0,6309	0,6731	0,7489	0,8566	1,0022	1,1802	1,3928	1,6406
8					2,5791	2,2089	1,8751	1,5771	1,3143	1,0853	0,8926	0,7329	0,6073	0,5155	0,4572	0,4321	0,4405	0,4824	0,5580	0,6673	0,8105	0,9881	1,2005
6					2,4204	2,0503	1,7167	1,4188	1,1562	0,9285	0,7351	0,5758	0,4509	0,3590	0,3008	0,2757	0,2839	0,3256	0,4010	0,5100	0,6530	0,8305	1,0432
4					2,2975	1,9271	1,5932	1,2951	1,0324	0,8047	0,6150	0,4525	0,3274	0,2360	0,1778	0,1528	0,1609	0,2025	0,2770	0,3856	0,5297	0,7071	0,9123
2					2,2105	1,8394	1,5048	1,2052	0,9430	0,7150	0,5217	0,3526	0,2376	0,1463	0,0882	0,0632	0,0740	0,1128	0,1880	0,2920	0,4411	0,6204	0,8358
0					2,1600	1,7877	1,4520	1,1524	0,8885	0,6598	0,4659	0,3065	0,1812	0,0897	0,0316	0,0067	0,0150	0,0555	0,1318	0,2419	0,3876	0,5693	0,7877
-2					2,1475	1,7737	1,4367	1,1358	0,8705	0,6407	0,4457	0,2853	0,1591	0,0668	0,0083	0,0168	0,0083	0,0337	0,1103	0,2224	0,3710	0,5562	0,7785
-4					2,1745	1,7993	1,4607	1,1582	0,8913	0,6595	0,4527	0,3004	0,1723	0,0785	0,0187	0,0070	0,0077	0,0452	0,1243	0,2400	0,3925	0,5823	0,8091
-6					2,2424	1,8555	1,5251	1,2205	0,9513	0,7172	0,5178	0,3529	0,2222	0,1257	0,0640	0,0373	0,0464	0,0919	0,1745	0,2947	0,4524	0,5473	0,8790
-8					2,3521	1,9732	1,6305	1,3236	1,0517	0,8145	0,6121	0,4438	0,3096	0,2099	0,1455	0,1140	0,1269	0,1748	0,2614	0,3867	0,5500	0,7507	1,0879
-10					2,1235	1,7783	1,4683	1,1931	0,9525	0,7453	0,5742	0,4358	0,3320	0,2644	0,2348	0,2445	0,2947	0,3854	0,5159	0,6852	0,8920	1,1352	1,4141
-12					2,3169	1,9586	1,6552	1,3763	1,1318	0,9214	0,7449	0,6018	0,4933	0,4222	0,3908	0,4070	0,4530	0,5470	0,6828	0,8580	1,0712	1,3205	1,6057
-14					2,2018	1,8845	1,6016	1,3527	1,1377	0,9564	0,8083	0,6950	0,6203	0,5872	0,5920	0,5512	0,7487	0,8887	1,0695	1,2889	1,5449	1,8367	2,1646
-16					2,1555	1,8691	1,6155	1,3956	1,2092	1,0561	0,9383	0,8602	0,8256	0,8357	0,8910	0,9910	1,1348	1,3207	1,5452	1,8088	2,1076		
-18					2,1791	1,9205	1,6955	1,5038	1,3459	1,2243	1,1436	1,1078	1,1179	1,1740	1,2757	1,4225	1,6127	1,8437	2,1129				
-20					2,2684	2,0378	1,8409	1,6788	1,5542	1,4718	1,4363	1,4453	1,5017	1,6049	1,7531	1,9467	2,1826						
-22					2,2219	2,0559	1,9292	1,8451	1,8009	1,8188	1,8753	1,9783	2,1283										
-24																							

Fig. 18a

X	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Y																							
24												3,1028											
22																							
20																							
18																							
16																							
14																							
12																							
10																							
8																							
6																							
4																							
2																							
0																							
-2																							
-4																							
-6																							
-8																							
-10																							
-12																							
-14																							
-16																							
-18																							
-20																							
-22																							
-24																							

Fig. 18b