

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 614 439**

51 Int. Cl.:

**G02C 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2002 E 11152011 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016 EP 2372435**

54 Título: **Lente de aumento de adición progresiva**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.05.2017**

73 Titular/es:

**CROSSBOWS OPTICAL LIMITED (100.0%)  
Avenue Road, Lurgan  
Craigavon Armagh BT66 7BQ, GB**

72 Inventor/es:

**STEELE, TREVOR;  
MCLOUGHLIN, HUGH y  
PAYNE, DEREK**

74 Agente/Representante:

**DURÁN MOYA, Luis Alfonso**

**ES 2 614 439 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Lente de aumento de adición progresiva

5 La invención hace referencia, en general, a lentes oftálmicas de aumento de adición progresiva y, en concreto, a un sistema y procedimiento mejorados para diseñar dichas lentes.

10 Las lentes bifocales para gafas han sido utilizadas durante muchos años por personas que padecen presbicia, una circunstancia médica que provoca una pérdida de la adaptación del ojo con la edad, dando lugar a dificultades de enfoque. Las lentes bifocales proporcionan una solución al dividir las lentes horizontalmente en dos zonas, teniendo cada una de ellas un aumento óptico distinto. La zona superior de la lente fue diseñada con el aumento óptico adecuado para una visión de lejos, mientras que la zona inferior fue diseñada para una visión de cerca (por ejemplo, para lectura). Esto permite que el usuario enfoque a distintas distancias simplemente cambiando la posición de la mirada. No obstante, los usuarios experimentaban molestias frecuentemente debido a la transición brusca entre las distintas zonas de la lente. Como consecuencia, se desarrollaron las lentes de adición progresiva para proporcionar una transición suave del aumento óptico entre las zonas de la lente.

20 Normalmente, las lentes de adición progresiva se describen habitualmente como teniendo tres zonas: una zona superior para visión de lejos, una zona inferior para visión de cerca y un pasillo de progresión intermedio que une las primeras dos zonas. La figura 1 es un diagrama de una lente progresiva habitual mostrada en alzado vertical (vista en planta). La lente tiene una zona de visión de lejos -2- con un aumento medio determinado, relativamente bajo, y una zona de lectura -4- con un aumento medio relativamente mayor. Un pasillo -6- de progresión intermedio de un aumento medio variable y habitualmente creciente conecta las zonas de visión de lejos y de lectura. Se muestran asimismo las zonas periféricas -8- contiguas al pasillo de progresión y el límite -10- de la lente (es decir, el borde de la lente).

30 Los objetivos al diseñar las lentes progresivas han sido proporcionar tanto una visión esencialmente clara en las zonas superior e inferior -2- y -4- y una variación suave en el aumento óptico en todo el pasillo de progresión -6-, al mismo tiempo que se controla la distribución del astigmatismo y otras aberraciones ópticas.

35 Las primeras técnicas de diseño requerían que la lente fuera esférica en todas las zonas de visión de lejos y de lectura, y empleaban diversos procedimientos de interpolación para determinar la forma de la lente en el pasillo de progresión y las zonas periféricas. Estas técnicas tenían varios inconvenientes. Aunque las propiedades ópticas de la zona de visión de lejos, de la zona de lectura y del pasillo de progresión eran habitualmente satisfactorias, las zonas contiguas al pasillo de progresión y al borde de la lente tendían a tener un astigmatismo significativo. Los procedimientos de interpolación diseñados para comprimir el astigmatismo en las zonas cercanas al pasillo de progresión presentaban gradientes relativamente pronunciados en el aumento medio, en astigmatismo y en prisma. El campo visual resultante no era tan suave ni tan continuo como sería deseable para la comodidad, la facilidad de enfoque y la maximización de la zona útil efectiva de la lente.

40 La figura 2 muestra una representación tridimensional de la distribución del aumento medio sobre la superficie de un diseño de una lente progresiva habitual. Se representa el aumento medio  $-M-$  en la dirección vertical y el disco de la lente se muestra con respecto a las coordenadas  $-x-$  e  $-y-$ . El disco de la lente está visto desde un ángulo menor de  $90^\circ$  por encima del plano de la lente. La entrega de la lente es opuesta a la de la figura 1, la zona de visión de lejos con un bajo aumento medio -12- se muestra en primer término en la figura 2 y la zona de lectura con un aumento medio -14- elevado se muestra en la parte posterior. Los gradientes pronunciados del aumento medio son evidentes, especialmente en las zonas periféricas -16-.

50 Muchos sistemas de diseño de lentes progresivas permiten que el diseñador establezca las propiedades ópticas únicamente en unos pocos puntos, curvas o zonas aisladas de la lente y utilizan una diversidad de procedimientos de interpolación para determinar la forma y las propiedades ópticas del resto de la lente.

55 La Patente USA número 3.687.528 de Maitenaz, por ejemplo, describe una técnica en la que el diseñador especifica la forma y las propiedades ópticas de una curva base que transcurre desde la parte superior de la lente a su parte inferior. La curva base, o "línea meridiana", es el cruce de la superficie de la lente con el meridiano vertical principal, un plano que divide la lente en dos mitades simétricas. El diseñador está limitado por el requisito de que el astigmatismo desaparezca en todo el largo de la línea meridiana (es decir, la línea meridiana debe ser "umbilical"). Maitenaz da a conocer varias fórmulas explícitas para extrapolar la forma de la lente horizontalmente desde un meridiano umbilical.

60 La Patente USA número 4.315.673 de Guilino describe un procedimiento en el que el aumento medio está especificado a lo largo de un meridiano umbilical y proporciona una fórmula explícita para extrapolar la forma del resto de la lente.

65 En un trabajo del 20 de julio de 1982, "La lente de aumento progresiva TRUVISION®", J.T. Winthrop describe un procedimiento de diseño de una lente progresiva en el que las zonas de visión de lejos y de lectura son esféricas. El

procedimiento de diseño descrito incluye la especificación del aumento medio en los perímetros de las zonas de visión de lejos y de lectura, que son tratados como los únicos límites.

5 La Patente USA número 4.514.061 de Winthrop describe asimismo un sistema de diseño en el que las zonas de visión de lejos y de lectura son esféricas. El diseñador especifica el aumento medio en las zonas de visión de lejos y de lectura, así como a lo largo de un meridiano umbilical que conecta las dos zonas. La forma del resto de la lente se determina mediante extrapolación a lo largo de un conjunto de superficies de nivel de una solución de la ecuación de Laplace sometida a condiciones límite en las zonas de visión de lejos y de lectura pero no en el borde de la lente. El diseñador de la lente no puede especificar la altura de la lente directamente en el borde de la lente.

10 La Patente USA número 4.861.153 de Winthrop describe asimismo un sistema en el que el diseñador especifica el aumento medio a lo largo de un meridiano umbilical. De nuevo, la forma del resto de la lente se determina mediante extrapolación a lo largo de un conjunto de superficies de nivel de una solución de la ecuación de Laplace que cruza el meridiano umbilical. No se proporcionan medios para que el diseñador de la lente especifique la altura de la lente directamente en el borde de la lente.

15 La Patente USA número 4.606.622 de Furter y G. Furter, "Zeiss Gradal HS, lente de adición progresiva con una máxima comodidad de uso", información Zeiss 97, 55-59, 1986, describe un procedimiento en el que el diseñador de la lente especifica el aumento medio de la lente en un número de puntos especiales en el pasillo de progresión. A continuación, se extrapola la forma de toda la superficie utilizando "splines" o curvas suaves. El diseñador ajusta el aumento medio en los puntos especiales a efectos de mejorar todas las propiedades de la superficie generada.

20 La Patente USA número 5.886.766 de Kaga y otros describe un procedimiento en el que el diseñador de la lente suministra únicamente el "concepto de la lente". El concepto del diseño incluye especificaciones tales como el aumento medio en la zona de visión de lejos, el aumento de adición y una forma global aproximada de la superficie de la lente. En lugar de ser especificada directamente por el diseñador, se calcula posteriormente la distribución del aumento medio en el resto de la superficie de la lente.

25 La Patente USA número 5.123.725 de Winthrop presenta lentes en configuraciones de propósito general y de actividades dinámicas ocupacionales.

30 La Patente USA número 4.838.675 de Barkan y otros, describe un procedimiento para mejorar una lente progresiva cuya forma ya ha sido descrita aproximadamente por medio de una función de superficie base. Se calcula una lente progresiva mejorada seleccionando una función definida sobre alguna subzona de la lente, en la que la función seleccionada debe ser añadida a la función de superficie base. La función seleccionada es elegida entre una familia de funciones interrelacionadas por uno o unos pocos parámetros, y la selección óptima se realiza extremando el valor de una medición de méritos predefinida.

35 En un sistema descrito por J. Loos, G. Greiner y H. P. Seidel, "Un enfoque variacional en el diseño de lentes progresivas", Diseño asistido por ordenador 30, 595-602, 1998 y por M. Tazeroualti, "Diseñando una lente progresiva", en el libro editado por P. J. Laurent y otros, Curvas y superficies en diseño geométrico, AK Peters, 1994, páginas 467-474, la superficie de la lente es definida por una combinación lineal de funciones "spline". Los coeficientes de las funciones "spline" son calculados para minimizar la función de coste. Este sistema de diseño no impone condiciones límite en la superficie y, por tanto, las lentes que requieren un perfil determinado de la altura del borde de la lente no pueden ser diseñadas utilizando este procedimiento.

40 La Patente USA número 6.302.540 de Katzman y otros da a conocer un sistema de diseño de lentes que requiere que el diseñador especifique una función de coste dependiente de la curvatura. En el sistema Katzman, el disco de la lente está dividido preferentemente en triángulos. El sistema genera una forma de la superficie de la lente que es una combinación lineal de "polinomios de forma" independientes, de los que hay al menos siete veces más que triángulos de partición (8:17-40). La forma de la superficie generada minimiza aproximadamente una función de coste que depende no linealmente de los coeficientes de los polinomios de forma (10:21-50). El cálculo de los coeficientes requiere invertir repetidamente matrices de tamaño igual al número de coeficientes. Dado que cada polinomio de forma contribuye a la forma de la superficie sobre cada triángulo, en general, ninguno de los elementos de la matriz desaparece. Como resultado, la inversión de las matrices y el cálculo de los coeficientes requiere un tiempo proporcional al menos al segundo aumento del número de polinomios de forma.

45 La imprecisión inherente de los polinomios de forma (10:10-14) implica que el disco debe ser dividido más finamente donde quiera que el aumento medio varíe más rápidamente. Estas consideraciones establecen un límite inferior en el número de coeficientes de los polinomios de forma que se deberían calcular y, por tanto, el tiempo que el sistema necesitaría para calcular la forma de la superficie de la lente. Dado que el sistema Katzman requiere un tiempo que, al menos, es el cuadrado del número de triángulos para calcular la superficie de la lente, el sistema es inherentemente demasiado lento para devolver una superficie de la lente calculada al diseñador lo suficientemente rápido para que el diseñador trabaje interactivamente con el sistema. El retraso inherente en el procesamiento impide que el diseñador pueda crear un diseño de la lente y, a continuación, realice ajustes al diseño mientras observa los efectos de los ajustes en tiempo real.

Ninguno de los sistemas de diseño anteriores proporciona un procedimiento simple mediante el que el diseñador de la lente pueda especificar las propiedades ópticas deseadas en toda la superficie de la lente y deducir un diseño coherente con dichas propiedades ópticas. Como consecuencia, muchos de estos sistemas anteriores dan lugar a defectos ópticos en las zonas periféricas de la lente y a unos gradientes innecesariamente pronunciados del aumento medio. Además, la complejidad del cálculo de algunos de los sistemas anteriores da lugar a un proceso de diseño prolongado que no permite que el diseñador de la lente diseñe la lente de modo interactivo. Asimismo, muchos de los sistemas anteriores no incluyen la definición de la altura de la lente alrededor de la periferia de la lente y, por tanto, no maximiza el área útil de la lente.

La presente invención busca proporcionar al diseñador de lentes medios para especificar como parámetros tanto el aumento medio de la lente en toda su superficie como la altura de la lente alrededor de su borde y la obtención de la forma de la superficie de la lente coherente con dichos parámetros en un tiempo suficientemente corto para que el diseñador haga uso del modo interactivo. Los diseños de la lente pueden ser creados con propiedades ópticas suaves, continuas deseables para comodidad del usuario, facilidad de adaptación y maximización del área útil efectiva de la lente.

La presente invención difiere de los procesos de diseño anteriores que, en general, se inician directamente con el modelado de la forma de la superficie de la lente, el cálculo de las propiedades ópticas y, a continuación, se intenta modificar la forma de la superficie a efectos de optimizar las propiedades ópticas. El proceso de la técnica anterior de variar la forma de la superficie para conseguir las propiedades ópticas deseadas no es estable numéricamente. Por esta razón, no se puede confiar en los procesos de diseño anteriores para generar diseños de lentes lo suficientemente rápido para que el diseñador los utilice de modo interactivo. Al contrario que con los procesos de diseño anteriores, la presente invención se inicia con la generación de la propiedad óptica clave del aumento medio de la superficie de la lente, conjuntamente con la altura del borde de la lente y, a continuación, se calcula la forma de la superficie de la lente.

Según la invención, se especifica el aumento medio en una pluralidad de puntos distribuidos por toda la superficie de la lente y se especifica la altura de la lente alrededor del borde de la lente. La altura de la lente es determinada en la pluralidad de puntos coherentes con el aumento medio especificado y la altura del borde de la lente, en parte hallando una solución única a una ecuación diferencial parcial de tipo elíptico sometida como condición límite a la altura del borde de la lente.

Se da a conocer un procedimiento para la redistribución del astigmatismo en el diseño de la lente. El procedimiento redistribuye el astigmatismo más uniformemente sobre la superficie de la lente y reduce los picos de astigmatismo en las zonas críticas. La presente invención incorpora asimismo un procedimiento de creación de diseños de una lente especial para los ojos izquierdo y derecho manteniendo la simetría horizontal y un equilibrio del prisma.

El procedimiento se implementa preferentemente utilizando un software que se ejecuta en un ordenador para proporcionar un sistema para definir una forma de la superficie de la lente de una manera interactiva con propiedades ópticas suaves y continuas deseables para la comodidad y facilidad de adaptación del usuario y una utilización útil máxima de la zona de la lente.

La invención comprende una lente progresiva diseñada según el procedimiento de diseño dado a conocer. Las realizaciones preferentes de la lente incluyen una lente progresiva que tiene una zona de visión de lejos y una zona de lectura en la que el aumento medio en la superficie de una lente varía según un conjunto de curvas que forman contornos con el mismo aumento medio en la superficie de la lente y el contorno que define un área de aumento medio constante en la zona de visión de lejos es una elipse con una proporción de eje mayor a menor dentro del margen aproximado de 1.1 a 3.0. Otra realización preferente de una lente incluye una zona de visión de lejos que tiene un primer aumento medio, una zona de lectura que tiene un segundo aumento medio mayor que el primer aumento medio, y una zona central entre las zonas de visión de lejos y de lectura con una anchura de al menos 10 milímetros de ancho y en la que el aumento medio se incrementa de manera suave y sustancialmente monótonica en toda la zona central en una dirección desde la zona de visión de lejos a la zona de lectura.

Asimismo, se da a conocer un sistema para el diseño de lentes progresivas que comprende un procesador para aceptar las entradas que definen la variación del aumento medio en un sistema de coordenadas que cubre la superficie de la lente y que definen la altura de la lente alrededor del borde de la lente y para calcular la altura de la lente en una pluralidad de puntos sobre la superficie de la lente solucionando una ecuación diferencial parcial elíptica sometida como condición límite a la altura de la lente en el borde de la lente, y una memoria para almacenar los valores calculados de la altura de la lente. El diseño de la lente creado utilizando el sistema se fabrica preferentemente utilizando una máquina rectificadora o una fresadora con control numérico (CNC) que utiliza técnicas bien conocidas en el sector.

Más adelante, en este documento se describirán aspectos adicionales de la invención.

A continuación se presenta una descripción de ciertas realizaciones de la invención, presentadas únicamente a

modo de ejemplo y haciendo referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la figura 1 es un diagrama de una lente progresiva convencional, mostrada en alzado vertical.

5 La figura 2 es una representación tridimensional de la distribución del aumento medio sobre la superficie de una lente progresiva habitual de la técnica anterior.

10 La figura 3 es un diagrama de una lente según una realización de la presente invención en una vista en alzado vertical que muestra una trayectoria de conexión y un subconjunto representativo de un sistema de contornos que cruzan la trayectoria de conexión.

La figura 4 es un gráfico que muestra un ejemplo de una función que especifica el aumento medio a lo largo de la trayectoria de conexión.

15 La figura 5 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un sistema de coordenadas preferente que comprende los ejes -x- e -y- y un ángulo  $-\theta$ .

20 La figura 6 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente según una realización de la presente invención que muestra las zonas límite de la lente.

La figura 7 es un gráfico que muestra un ejemplo de una función de la altura del límite de la lente que varía de  $\theta = 0$  a 360 grados alrededor del límite de la lente.

25 La figura 8 es una representación tridimensional de una distribución de aumento medio teórico sobre la superficie de una lente según una realización de la presente invención.

La figura 9 es un gráfico que muestra un ejemplo de optimización del perfil de aumento medio a lo largo de la trayectoria de conexión.

30 La figura 10 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de la distribución del aumento medio sobre una familia de elipses del mismo aumento medio.

35 La figura 11 es un gráfico que muestra un ejemplo de un perfil de la altura del borde alrededor de la periferia de una lente.

La figura 12 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de la distribución del astigmatismo resultante de la distribución de aumento medio de la figura 10 y el perfil de la altura del borde de la figura 11.

40 La figura 13 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de la distribución del aumento medio modificada para reducir el astigmatismo a lo largo de la línea central.

La figura 14 es un gráfico que muestra un ejemplo de un perfil modificado de la altura del borde.

45 La figura 15 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de la redistribución del astigmatismo resultante de la distribución del aumento medio modificada de la figura 13 y del perfil de la altura del borde modificado de la figura 14.

50 La figura 16 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de una distribución del aumento medio que incorpora el cambio en el perfil del aumento medio a lo largo de la trayectoria de conexión, tal como se muestra en la figura 17.

55 La figura 17 es un gráfico que muestra un ejemplo del cambio en el perfil del aumento medio a lo largo de la trayectoria de conexión para optimizar el aumento medio en el área del pasillo central.

La figura 18 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de una distribución del astigmatismo derivada de la distribución de la altura recalculada de la superficie.

60 La figura 19 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de una distribución del aumento medio girado.

La figura 20 es un gráfico que muestra un ejemplo de un perfil de la altura del borde girado.

65 La figura 21 es una vista en alzado vertical de la superficie de una lente que muestra un ejemplo de la distribución del astigmatismo como resultado de la distribución del aumento medio girado de la figura 19 y del perfil de la altura del borde girado de la figura 20.

La figura 22 es un diagrama de flujo que muestra las etapas principales de una realización del procedimiento de diseño de la presente invención.

5 La superficie de una lente puede ser descrita mediante la ecuación  $z = f(x, y)$ , en la que  $-x$ ,  $-y$  y  $-z$  son las coordenadas cartesianas rectangulares.

Por brevedad, sea  $\partial_x \equiv \frac{\partial}{\partial x}$ ;  $\partial_y \equiv \frac{\partial}{\partial y}$ ;  $\partial_x^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2}$ ;  $\partial_y^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ ; y  $\partial_{xy}^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}$ . Los principales radios

10 de curvatura  $-R_1$  y  $-R_2$  de la superficie son las raíces de la ecuación cuadrática:

$$[rt - s^2]R^2 + h[2pqs - (1 + p^2)t - (1 + q^2)r]R + h^4 = 0 \quad (1)$$

15 en la que  $p \equiv \delta_x z$ ,  $q \equiv \delta_y z$ ,  $r \equiv \partial_x^2 z$ ,  $s \equiv \partial_y^2 z$ ,  $t \equiv \partial_{xy}^2 z$  y  $h \equiv \sqrt{(1 + p^2 + q^2)}$ .

Véase, por ejemplo, I. N. Bronshtein & K.A. Semendyayev, "Libro guía para las matemáticas", Verlag Harri Deutsch, 1971.

20 Los valores principales de la curvatura son  $1/R_1$  y  $1/R_2$  respectivamente. La diferencia de curvatura principal

$$\langle \delta \rangle \equiv \left| \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right|$$

está relacionada con la propiedad óptica del astigmatismo (también conocida como aumento óptico cilíndrico) mediante  $D = 1000(n-1)\langle \delta \rangle$  donde  $-D$  es medida en dioptrías,  $n$  es el índice de refracción y la distancia es medida en milímetros.

$$\langle \mu \rangle \equiv \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

25 La curvatura media está relacionada, de modo similar, con la propiedad óptica del aumento medio  $M = 1000(n-1)\langle \mu \rangle$  medida asimismo en dioptrías. Tal como es utilizado en este documento,  $\langle \mu \rangle$  es la media de las dos curvaturas principales, y  $\langle \delta \rangle$  es la diferencia absoluta de las dos curvaturas principales.

En una realización, el diseñador preferentemente formula  $M(x, y)$  y, de este modo,  $\langle \mu \rangle(x, y)$  en toda el área de la lente. Para diseñar una lente progresiva, el aumento medio es formulado en toda la superficie de la lente utilizando un sistema preferente de coordenadas. Este sistema preferente consiste en un conjunto continuo de contornos que no se cruzan entre sí que llenan conjuntamente toda el área de la lente y una trayectoria de conexión, con cada línea de contorno cruzando la trayectoria de conexión una vez. La trayectoria de conexión es una curva que conecta un punto en la zona de visión de lejos a un punto en la zona de lectura. Para especificar el aumento medio en este sistema preferente de coordenadas, el diseñador especifica cómo varía el aumento medio a lo largo de la trayectoria de conexión y cómo varía el aumento medio a lo largo de cada contorno desde su punto de cruce con la trayectoria de conexión. Preferentemente, la variación en el aumento medio a lo largo de la trayectoria de conexión debería ser descrita por medio de una función adecuadamente suave que varía desde un valor menor en la zona de visión de lejos hasta un valor mayor en la zona de lectura.

Asimismo, es preferente que la altura de la lente alrededor del límite sea especificada por medio de una función que varía poco cerca de las zonas de visión de lejos y de lectura y gradualmente cerca de las zonas intermedias mostradas en la figura 6. Una manera de construir dicha función es una composición suave, en piezas, de cualquiera de una amplia variedad de funciones elementales bien conocidas, tales como funciones polinómicas, trigonométricas o gaussianas.

La forma de la superficie de la lente se determina, a continuación, en base a la distribución del aumento medio y a la altura de la lente en el borde. El procedimiento preferente es la resolución de un problema del valor límite.

50 El astigmatismo no deseado en las zonas críticas puede ser reducido de este modo y se pueden crear diseños de las lentes individuales izquierda y derecha, tal como se describe en más detalle a continuación.

#### A. Formulación del aumento medio sobre la superficie de la lente

55 En el caso de la lente progresiva de la presente invención, el procedimiento preferente para formular el aumento medio  $-M$  como una función sobre toda la zona de la lente implica cuatro etapas. En primer lugar, el diseñador selecciona puntos,  $-P_D$  en la zona de visión de lejos y  $-P_R$  en la zona de lectura, y una trayectoria de conexión entre estos puntos. En una realización, ambos puntos y la trayectoria de conexión están situados a lo largo del eje de simetría izquierdo-derecho de la lente. Por tanto, en esta realización, la trayectoria de conexión es denominada

como el meridiano del perfil de aumento. La figura 3 es un alzado vertical (vista en planta) de una lente progresiva que muestra los puntos seleccionados  $-P_D-$  y  $-P_R-$  mostrados como los puntos finales  $-20-$  y  $-22-$  en cada extremo de la trayectoria de conexión (o meridiano del perfil de aumento)  $-24-$ .

5 En segundo lugar, se selecciona un conjunto continuo de contornos, sometidos a las condiciones de que cada contorno en el conjunto cruza el meridiano del perfil de aumento una vez y no existen dos contornos en el conjunto que se cruzan entre sí. Las curvas de la figura 3 dentro del límite  $-10-$  de la lente son elementos representativos de un ejemplo de dicho conjunto continuo de contornos. En una realización preferente, el conjunto de contornos llena todo el disco de la lente. En una segunda realización preferente, el diseñador puede definir una zona de visión de  
10 lejos  $-32-$  y un zona de lectura  $-34-$  de aumento medio constante. El conjunto de contornos llena la zona restante de la lente. En el ejemplo mostrado en la figura 3, las curvas  $-28-$  y  $-30-$  son contornos que forman los límites de las zonas de aumento medio constante. En este ejemplo, el conjunto continuo de contornos está compuesto por dos familias de hipérbolas:

$$\frac{x^2}{\zeta_R^2} - \frac{(y - P_R)^2}{\zeta_R^2} = 1 \text{ para } y \leq 0 \text{ y} \quad (2A)$$

$$\frac{x^2}{\zeta_D^2} - \frac{(y - P_D)^2}{\zeta_D^2} = 1 \text{ para } y \geq 0, \quad (2B)$$

15 en que las coordenadas  $-x-$  e  $-y-$  están definidas según el sistema de coordenadas tal como se muestra en la figura 5. Dado que los parámetros  $\zeta_R$  y  $\zeta_D$  varían, el conjunto de contornos llena toda el área entre los contornos  $-28-$  y  $-30-$ . Para  $y = 0$ , las dos familias de hipérbolas se superponen, incluyendo cada una el ecuador  $-26-$  del disco como un elemento cuando  $\zeta_D$  o  $\zeta_R$  varían.

El conjunto de las líneas de contorno mostradas en la figura 3 no son de ningún modo un ejemplo único de los contornos que pueden cumplir las condiciones dadas anteriormente. Los contornos pueden ser seleccionados de entre familias de curvas distintas a las cónicas y de entre familias de cónicas distintas a las hipérbolas. En la  
25 segunda realización preferente, el conjunto de contornos podría igualmente consistir en dos familias de elipses. Según la invención, el contorno que forma el límite de la zona de visión de lejos es preferentemente una elipse con una proporción de eje mayor a eje menor dentro de un margen aproximado de 1,1 a 3,0. Asimismo, se espera que los contornos se puedan seleccionar de entre familias de curvas distintas de las cónicas.

30 En una tercera etapa de un procedimiento preferente para formular el aumento medio en la lente, el diseñador formula una función que especifica la variación del aumento medio a lo largo del meridiano del perfil medio. Preferentemente, la función formulada tiene en cuenta el criterio de la comodidad del usuario y la utilización prevista de la lente. Las funciones que reúnen dichos criterios pueden, por ejemplo, ser combinaciones lineales de funciones elementales. Un ejemplo de dicha función es:  $\zeta$ , en la que  $-M_D-$  es el aumento medio especificado en un punto  $P_D = (0, y_D)$  en la zona de visión de lejos y  $-M_R-$  es el aumento medio especificado en un punto  $P_R = (0, y_R)$  en la zona de  
35 lectura.

La figura 4 es un gráfico del aumento medio  $-M-$  representado con respecto al eje  $y$  de la lente a lo largo de la longitud del meridiano del perfil de aumento. Los extremos del gráfico se corresponden con los puntos extremos  $-20-$  y  $-22-$  del meridiano del perfil de aumento. Una función  $-36-$  que especifica el aumento medio  $-M-$  a lo largo del meridiano del perfil del aumento se muestra como un ejemplo de una variación adecuada del aumento medio. En el ejemplo mostrado, el aumento medio es constante en la zona de visión de lejos  $-32-$  y de la zona de lectura  $-34-$ .

45 Finalmente, en la cuarta etapa de un procedimiento preferente para formular el aumento medio en la lente, el diseñador formula funciones que especifican la variación en el aumento medio  $-M-$  a lo largo de cada una de las líneas de contorno. El aumento medio en el punto en el que un contorno cruza el meridiano del perfil de aumento es igual al aumento medio especificado en este punto en el meridiano del perfil de aumento. De este modo, al definir la variación en el aumento medio  $-M-$  a lo largo de cada una de las líneas de contorno se completa la definición del aumento medio en toda la superficie de la lente. Una elección conveniente coherente con este requerimiento es que el aumento medio simplemente permanezca constante a lo largo de cada contorno. Otras elecciones son asimismo  
50 compatibles con la realización dada a conocer.

#### B. Prescribiendo la altura de la lente en el límite de la lente

55 En una realización preferente, el diseñador formula asimismo la altura de la lente en el borde de la lente. (Tal como se utiliza en este documento, los términos "borde de la lente" y "límite de la lente" son sinónimos). El diseñador especifica una función de la altura del límite de la lente  $z(\theta)$  en que  $-z-$  indica la altura de la lente y  $\theta$  indica la coordenada angular alrededor del límite de la lente. La figura 5 muestra la convención preferente para que  $\theta$  sea

definida como el ángulo alrededor del borde -48- de la lente en dirección en dirección contraria a las agujas del reloj que se inicia en el cruce de -x- con el borde de la lente.

5 Preferentemente, la especificación del diseñador de  $z(\theta)$  tiene en cuenta los criterios de comodidad del usuario y de la utilización prevista de la lente. Las discontinuidades o cambios abruptos en  $z(\theta)$  dan lugar, en general, a saltos en la imagen que son incómodos para el usuario. Asimismo, para ser soportada en una montura de gafas, una lente no debe ser ni muy gruesa ni muy delgada alrededor de su borde.

10 En el caso de una lente progresiva, se aplican preferentemente criterios de diseño adicionales a  $z(\theta)$ . La figura 6, un alzado vertical (vista en planta) de la superficie de la lente progresiva, muestra segmentos del límite de la lente que se corresponden aproximadamente con las zonas contiguas de una lente progresiva corriente, mostrada en la figura 1. El segmento -50- del límite es aproximadamente contiguo a la zona de visión de lejos -40-; el segmento -52- del límite es aproximadamente contiguo a la zona de lectura -42-, y los segmentos -54- y -56- del límite son aproximadamente contiguos a las zonas periféricas -44- y -46-. Para facilitar diseños con propiedades ópticas relativamente uniformes en las zonas de visión de lejos y de lectura, es preferente que  $z(\theta)$  varíe poco dentro de cada uno de los segmentos -50- y -52-. Para facilitar diseños que no provoquen distorsiones incómodas de las imágenes en la periferia de la lente, es preferente que en los segmentos -54- y -56-,  $z(\theta)$  varíe gradualmente a efectos de hacer unas transiciones sustancialmente suaves entre los segmentos -50- y -52-. A efectos de cumplir con estos criterios de diseño, el diseñador puede, por ejemplo, construir  $z(\theta)$  a partir de una composición suave, en piezas, de cualquiera de una amplia variedad de funciones elementales bien conocidas, tales como funciones polinómicas o trigonométricas.

15 La figura 7 muestra el comportamiento cualitativo preferente de la función de la altura del límite de la lente -60-, que muestra la altura -z- del límite de la lente en el eje vertical representado con respecto a la coordenada angular  $\theta$  sobre el eje horizontal, con  $\theta$  variando desde 0 a 360 grados en los segmentos -50-, -52-, -54- y -56- del límite de la lente.

20 Dentro de estos criterios, queda algo de flexibilidad en la especificación de  $z(\theta)$  para una lente progresiva. Tras examinar las propiedades ópticas de una lente cuya forma superficial se ha determinado según la presente realización, el diseñador puede explotar esta flexibilidad modificando  $z(\theta)$ . Se ha mostrado que una lente progresiva corriente puede ser diseñada y optimizada utilizando los procedimientos descritos en este documento en una hora o menos, siendo cada cálculo sucesivo de la distribución de la altura de la lente sobre la superficie de la lente realizado en cuestión de minutos. Con la ventaja de una respuesta tan rápida, el diseñador puede modificar  $z(\theta)$  de manera que lleve a propiedades ópticas mejoradas, tales como un menor astigmatismo, en zonas críticas de la lente.

30 C. Determinación de la forma de la superficie de la lente

Cuando se especifica la función de la curvatura media  $\langle\mu\rangle$ , la función de la altura satisface:

$$[\partial_x^2 + \partial_y^2]z = F \tag{3}$$

en que

$$F = 2\langle\mu\rangle[1 + (\partial_x z)^2 + (\partial_y z)^2]^{3/2} - [\partial_x z]^2 \partial_x^2 z + 2[\partial_x z](\partial_x z) \partial_x \partial_y z - [\partial_x z]^2 \partial_y^2 z$$

45 La presente invención determina la forma de la superficie de la lente resolviendo la ecuación (3) sometida a la condición límite que es especificada por la altura del borde de la lente  $z(\theta)$ . Dado que la ecuación (3) es una ecuación diferencial parcial de tipo elíptico, debe existir una solución única, estable para la forma de la superficie de la lente  $z$ . Para determinar dicha solución, la presente realización utiliza un proceso iterativo para resolver la ecuación (3) numéricamente.

50 Para establecer una solución inicial, se supone una configuración de la lente de bajo aumento, en la que  $|\delta_x z| \ll 1$  y  $|\delta_y z| \ll 1$ . Para esta solución inicial,  $\delta_x z$  y  $\delta_y z$  pueden ser eliminados de la ecuación (3), llevando a una ecuación de Poisson:

$$[\partial_x^2 + \partial_y^2]z = 2\langle\mu\rangle \tag{4}$$

60 La zona de la lente está cubierta con una malla cuadrada. Se evalúa la curvatura media  $\langle\mu\rangle$  a partir de  $-M-$  en puntos de la malla; sus valores son proporcionales a  $F^{(0)}$ , una función de dos variables discretas. En total, una función con un superíndice entre paréntesis será la función de dos variables discretas que representan los valores



en puntos de la malla de la función continua correspondiente.  $z^{(0)}$  en puntos de la malla en el límite del disco, representa los valores de  $z(\theta)$  en dichos puntos. Para puntos de la malla cerca del límite del disco, el valor de  $z^{(0)}$  es una media adecuada de los valores cercanos de  $z(\theta)$ . En otros lugares de la malla,  $z^{(0)}$  no necesita estar definida.

5 Los superíndices entre paréntesis se refieren a la etapa de la iteración. En la primera iteración, se resuelve la ecuación análoga discreta de la ecuación (4)

$$(\partial_x^2 z)^{(0)} + (\partial_y^2 z)^{(0)} = F^{(0)} \quad \text{con} \quad F^{(0)} = 2\langle \mu \rangle \quad (5)$$

10 para obtener  $z^{(1)}$ .

$z^{(1)}$  se resuelve para los puntos de la malla utilizando la técnica de sobrerrelajación sucesiva (SOR). La técnica SOR para resolver ecuaciones elípticas se describe en W.H. Press y otros, "Recetas numéricas en C: el arte de la computación científica" (Cambridge University Press 1992) en las secciones 19.2 and 19.5, que se incorporan a este documento por referencia.

15 En las iteraciones posteriores, se resuelve la ecuación (6), el análogo discreto de la ecuación (3)

$$(\partial_x^2 z)^{(n+1)} + (\partial_y^2 z)^{(n+1)} = F^{(n)} \quad (6)$$

20 para obtener  $z^{(n+1)}$ . Para  $n \geq 1$ ,  $F^{(n)}$  incluye todos los términos mostrados en la ecuación (3). Los valores de  $F^{(n)}$  son calculados en los puntos de la malla utilizando los valores de  $z^{(n)}$  determinados en los puntos de la malla en la iteración anterior. Los diferenciales parciales de  $-z$  que aparecen en  $F$ , tal como se muestra en la ecuación (3), se calculan utilizando los esquemas de diferencia central, teniendo un cuidado especial en los puntos de la malla cerca del límite circular. De nuevo, la técnica SOR es utilizada para resolver  $z^{(n+1)}$  en puntos de la malla.

25 La técnica SOR emplea una serie repetitiva de barridos sobre la malla para converger en una solución. La velocidad de convergencia depende del valor del factor de sobrerrelajación (ORF), y el valor preferente del ORF es determinado experimentalmente. Una vez determinado, el mismo valor de ORF es asimismo preferente para resolver ecuaciones similares, tal como iteraciones sucesivas de la ecuación (6). (Véase Press y otros, en la sección 19.5).

30 Una ventaja importante de la técnica SOR es que alcanza la convergencia en un tiempo proporcional a la raíz cuadrada del número de puntos de la malla. Esta característica implica que con un reducido coste en tiempo de ordenador, se puede implementar una suficiente densidad de la malla para que el SOR para converja en la solución de la ecuación (6) que se corresponde en los puntos de la malla a la solución única de la ecuación (3).

35 Se ha encontrado que cinco iteraciones de la ecuación (6) producirán habitualmente una solución numérica satisfactoria de la ecuación (3).

#### 40 D. Reducción del astigmatismo no deseado en zonas críticas

45 Utilizando la forma de la superficie de la lente resultante de la etapa C anterior, se puede calcular la diferencia de la curvatura principal  $\langle \delta \rangle$  en cada punto de la malla. Los diferenciales parciales de  $-z$  que aparecen en  $\langle \delta \rangle$  son calculados utilizando esquemas de diferencia central, teniendo especial cuidado en los puntos de la malla cerca del límite circular.

50 Se puede encontrar un astigmatismo excesivo en zonas críticas tales como las zonas centrales y de lectura. Aunque el astigmatismo no puede ser evitado totalmente en un diseño de lente progresiva, el astigmatismo puede ser redistribuido más uniformemente, lejos de las zonas críticas.

55 Por ejemplo, el astigmatismo en la zona central, puede ser reducido para mejorar ahí el rendimiento óptico. Podría imponerse un criterio para el máximo nivel de astigmatismo aceptable en la zona central, tal como  $D \leq 0,15 * (M_R - M_D)$ . En este documento,  $-M_D$  es el aumento medio especificado en el punto  $-P_D$  en la zona de visión de lejos y  $-M_R$  es el aumento medio especificado en el punto  $-P_R$  en la zona de lectura.

60 Se supone que la forma de la lente es simétrica respecto a la línea central, de manera que  $z = f(x, y)$  con  $f(-x, y) = f(x, y)$ . A continuación, a lo largo de la línea central,  $p = 0$  y  $s = 0$  y la curvatura media  $\langle \mu \rangle$  y la diferencia de curvatura principal  $\langle \delta \rangle$  vienen dados respectivamente por la ecuación (7):

$$\langle \mu \rangle = \frac{(t + h^2 r)}{2h^3} \quad \text{y} \quad \langle \delta \rangle = \frac{(t - h^2 r)}{h^3} \quad (7)$$

Para hacer desaparecer el astigmatismo -D- exactamente a lo largo de la línea central, sería necesario que t fuera igual a  $h^2r$  y la curvatura media  $\langle\mu\rangle$  igual a  $r/h$ . Por tanto, la función  $\langle\mu\rangle$  tendría que ser modificada según la ecuación (8):

$$\langle\mu\rangle(0,y) \rightarrow \langle\mu\rangle(0,y) + \Delta\langle\mu\rangle(0,y) \quad (8)$$

en que

$$\Delta\langle\mu\rangle(0,y) \equiv \frac{r}{h} \Big|_{(0,y)} - \langle\mu\rangle(0,y) = \frac{\partial_x^2 z}{\sqrt{1 + (\partial_x z)^2}} \Big|_{(0,y)} - \langle\mu\rangle(0,y) \quad (9)$$

Para reducir el astigmatismo -D- en la zona central y al mismo tiempo distribuir los cambios en el aumento medio -M- en toda la lente, se puede emplear una función de difusión  $\sigma(x)$ :

$$\langle\mu\rangle(x,y) \rightarrow \langle\mu\rangle(x,y) + \sigma(x)\Delta\langle\mu\rangle(0,y) \quad (10)$$

$\sigma(x)$  puede ser una función suavemente variable que adopta el valor 1 en  $x = 0$ . Un ejemplo de dicha función es:

$$\sigma(x) = \left\{ \begin{array}{ll} \exp\{-k^2(x-x_L)^2\} & | x < x_L \\ \exp\{-k^2(x-x_R)^2\} & | x > x_R \\ 1 & | x_L \leq x \leq x_R \end{array} \right\} \quad (11)$$

en que  $-x_R$  y  $-x_L$  adoptan valores iguales antes de la entrega y crean una zona constante para la función de difusión  $\sigma(x)$ . El parámetro  $-k$  controla la velocidad de disminución de  $\sigma(x)$  a la izquierda y a la derecha de la zona constante. La función de la curvatura media  $\langle\mu\rangle(x, y)$  resultante de las ecuaciones (8), (9) y (10) puede ser calculada en puntos de la malla y se utiliza para recalcularse completamente la función  $-z$ - de altura superficial de la manera descrita en la etapa C.

En el recálculo completo de  $-z$ - con una  $\sigma(x)$  seleccionada, las derivadas implicadas en la ecuación (9) adoptarán, en general, valores nuevos. Como resultado, la función de la curvatura media  $\langle\mu\rangle(x, y)$  adoptará asimismo valores nuevos. Las variables  $z$ ,  $\langle\mu\rangle$  y  $\langle\delta\rangle$  son recalculadas repetidamente, siendo detenida la repetición a discreción del diseñador. En caso necesario, los valores de  $-x_L$ ,  $-x_R$  y  $-k$  pueden ser cambiados durante este proceso.

El astigmatismo puede ser reducido de manera similar en cualquier zona crítica, determinando primero el cambio local en -M- requerido para hacer que -D- desaparezca exactamente en la zona y distribuyendo, a continuación, el cambio en -M- en toda la lente. El resultado es un conjunto de valores modificados de -M- en puntos de la malla. La -M- modificada puede ser introducida de nuevo en la etapa C en la ecuación (5) para obtener una función superficiales  $-z$ - de la lente modificada en puntos de la malla. La  $-z$ - modificada, a su vez, es utilizada para recalcularse el astigmatismo -D- en los puntos de la malla, y todo el proceso puede ser repetido hasta que la distribución del astigmatismo sea considerada aceptable.

#### E. Optimización de la distribución del aumento medio alrededor del meridiano del perfil de aumento

Como resultado del cambio del aumento medio para reducir el astigmatismo no deseado, se puede encontrar que el aumento medio en ciertas zonas críticas ya no sea el que el diseñador desea. La figura 9 muestra un ejemplo de un perfil de aumento medio tras reducir el astigmatismo (línea 72). En el caso de un diseño normal, se deseará mantener el aumento medio por debajo de un cierto valor en el punto de ajuste (línea 74). Asimismo se deseará que el aumento medio alcance el aumento de adición correcto, en este ejemplo 2,00 dioptrías, en el punto de medición de la adición (línea 76). Para conseguir el perfil de aumento medio deseado, sin elevar los niveles de astigmatismo de manera significativa, el aumento medio puede ser modificado localmente. Esto se muestra en la línea 70 en la figura 9, y esta modificación se realiza sobre una anchura limitada en la dirección  $-x$ - de, por ejemplo, 12 a 16 mm. La media modificada puede ser distribuida por toda la lente de un modo lineal simple. La nueva distribución -M- se introduce de nuevo en la etapa C en la ecuación (5) para obtener una función superficiales  $-z$ - de la lente modificada en puntos de la malla. La  $-z$ - modificada, a su vez, es utilizada para recalcularse el astigmatismo -D- en puntos de la malla, de manera que se puede comprobar si se encuentra dentro de unos límites aceptables. Todo el proceso puede ser repetido hasta que la distribución de la media y el astigmatismo sea considerada aceptable.

F. Diseño de las lentes izquierda y derecha

Una vez se ha obtenido una forma de la lente aceptable, se diseñan las versiones derecha e izquierda para minimizar el desequilibrio binocular. A diferencia de los planteamientos anteriores al problema de la entrega, el control directo de la mecánica de la entrega reside en las formulaciones de la curvatura media y la altura del borde. Para conseguir estas lentes con entrega, se diseñan girando tanto la curvatura media  $\langle \mu \rangle(x, y)$  como la altura del límite  $z(\theta)$  de una manera dependiente del ángulo. Específicamente,

$$\langle \mu \rangle(\rho, \theta) \rightarrow \langle \mu \rangle(\rho, H(\theta)) \quad (12)$$

$$z(\theta) \rightarrow z(H(\theta)) \quad (13)$$

en que  $(\rho, \theta)$  son coordenadas polares correspondiente a  $(x, y)$ . La función de entrega H es de la forma:

$$H(\theta) = h_0 \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(-K^2\left(\theta - \frac{3\pi}{2} + \omega\right)^2\right) \\ \exp\left(-K^2\left(\theta - \frac{3\pi}{2} - \omega\right)^2\right) \\ 1 \end{array} \left| \begin{array}{l} \theta < \frac{3\pi}{2} - \omega \\ \theta > \frac{3\pi}{2} + \omega \\ \frac{3\pi}{2} - \omega \leq \theta \leq \frac{3\pi}{2} + \omega \end{array} \right. \right\} \quad (14)$$

en que  $h_0$  es el ángulo de entrega,  $\omega$  controla la porción sin distorsionar de la zona de lectura con entrega, y  $-K$  determina la naturaleza de las zonas delante y detrás de la rotación pura. Los valores normales de estos parámetros podrían ser  $h_0 = 9$  grados,  $\omega = 30$  grados y  $K = 1.5$ . Los valores de las curvaturas medias y la altura del borde se introducen en la etapa C en la ecuación (5) para obtener una función  $z(x, y)$  de la superficie de la lente recalculada en los puntos de la malla.

La figura 8 es una representación tridimensional de una distribución de la curvatura media teórica sobre la superficie de una lente según una realización de la presente invención. La curvatura media  $-M-$  está representada en dirección vertical.  $-M-$  está representada como una función de  $-x-$  e  $-y-$ , que se muestran como las dos direcciones horizontales. El disco de la lente es visto desde un ángulo menor de  $90^\circ$  por encima del plano de la lente. Dado que la zona de visión de lejos se muestra en el plano principal y la zona de lectura en el fondo de la figura 8,  $-y-$  aumenta en la dirección del plano principal al fondo. Tal como puede verse, existe una zona de menos curvatura media  $-62-$  en la zona de visión de lejos y de mayor curvatura media  $-64-$  en la zona de lectura. El aumento medio cambia suavemente y aumenta sustancialmente monótonicamente con el aumento de  $-y-$  en toda la zona crítica ópticamente entre la zona de visión de lejos y la zona de lectura así como en las zonas periféricas  $-66-$  y  $-68-$ .

G. Un ejemplo del diseño de lente

A continuación se presenta un diseño de lente fabricado utilizando procedimientos que comprenden la presente invención. La distribución del aumento medio se define inicialmente para la superficie completa de la lente. En la figura 10, se puede ver una distribución adecuada utilizando una familia de elipses de igual aumento medio, en la que las líneas de contorno son mostradas teniendo valores de aumento medio entre 0,25 a 2,00 dioptrías en incrementos de 0,25 dioptrías. Para definir completamente toda la superficie también es necesario especificar la altura de la lente alrededor del borde de la lente. En la figura 11, se muestra un ejemplo de una función de la altura del borde de la lente adecuada. Esta figura muestra la altura superficial  $-z-$  de la lente en milímetros con referencia al borde de la zona de visión de lejos. Estos parámetros son utilizados como entradas para la ecuación (10), descrita anteriormente en la etapa C, y las ecuaciones son resueltas para las alturas de superficie  $-z-$  sobre la superficie completa. La solución es deducida numéricamente utilizando un ordenador digital de alta velocidad, utilizando software y técnicas de programación bien conocidas en la técnica. Una máquina adecuada sería un ordenador personal con un Pentium III o un procesador posterior, tal como un Compaq EVO D300. El tiempo de cálculo requerido para resolver el problema del valor del límite es aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada del número de puntos en los que se calcula la altura.

A partir de los valores de la altura  $-z-$  resultantes, se puede calcular la distribución del astigmatismo y el aumento esférico para el diseño. Aunque la distribución del aumento esférico puede ser calculado, en principio, directamente a partir de la distribución del aumento medio y de la distribución calculada del astigmatismo, el cálculo de la distribución del aumento esférico a partir de los valores de la altura  $-z-$  resultantes es útil para confirmar que dichos valores de la altura  $-z-$  son coherentes con la distribución del aumento medio definido. La figura 12 muestra la distribución del astigmatismo resultante a partir de la distribución del aumento medio y la función de la altura del

borde de la lente de la figura 10 y de la figura 11.

La siguiente etapa es reducir el astigmatismo en la zona del pasillo central a un nivel aceptable. Esta reducción se consigue modificando la distribución del aumento medio según las ecuaciones (8), (9) y (10) descritas anteriormente. La distribución del aumento medio modificada resultante se muestra en la figura 13. Para tener en cuenta los criterios de la comodidad del paciente como es preferente, la función de la altura del borde de la lente puede asimismo ser modificada, y un ejemplo de una función de la altura de la lente modificada se muestra en la figura 14. Las funciones de la altura del borde y del aumento medio modificadas son utilizadas, a continuación, para recalcular la distribución de las alturas superficiales -z- sobre toda la superficie resolviendo la ecuación (5) como antes. En la figura 15 se muestra una distribución del astigmatismo deducida de la distribución de la altura superficial recalculada. Esta etapa puede ser repetida hasta que el diseñador encuentra una distribución aceptable del astigmatismo.

En la figura 17 se muestra un ejemplo de los cambios provocados en el perfil del aumento medio a lo largo de la línea central para reducir el astigmatismo en la zona del pasillo central. Habiendo encontrado que el astigmatismo en la zona del pasillo central se ha reducido a niveles aceptables, el diseñador puede encontrar que el perfil del aumento medio a lo largo de la línea central ya no cumple con lo que deseaba originalmente. Tal como se muestra en la figura 17, por ejemplo, en la zona de adición, el aumento medio en el punto de la medición de la adición (-13 mm) está por debajo de las 2,00 dioptrías. A continuación, el perfil del aumento medio debe ser optimizado según la etapa E anterior. El perfil de aumento medio optimizado sobre una anchura de 12 mm que rodea la línea central de la lente es utilizado, a continuación, como entrada para recalcular la distribución de las alturas superficiales -z- resolviendo de nuevo la ecuación (5). Una distribución del aumento medio que incorpora los cambios mostrados en la figura 17, se muestra en la figura 16. El aumento medio modificado y la función de los perfiles de la altura del borde anterior son utilizados, a continuación, para recalcular la distribución de las alturas superficiales -z- sobre toda la superficie resolviendo la ecuación (5) como antes y en la figura 18 se muestra una distribución de astigmatismo deducida de la distribución de la altura superficial.

Finalmente, el diseño debe ser entregado para su utilización en el ojo izquierdo o derecho de una montura para gafas. Esto se consigue girando tanto la distribución del aumento medio y la función de la altura del borde tal como se ha descrito en la etapa F anterior y recalculando una vez más la distribución de las alturas superficiales -z- resolviendo la ecuación (5) descrita anteriormente. Un ejemplo de una distribución del aumento medio girado se muestra en la figura 19 y un ejemplo de una función de la altura del borde girado se muestra en la figura 20. Tras recalcular las alturas superficiales -z-, se puede deducir de nuevo la distribución del astigmatismo. Un ejemplo de dicha distribución del astigmatismo puede observarse en la figura 21.

Tal como se puede observar en la figura 19, el diseño completo de la lente incluye una zona de visión de lejos con un aumento medio relativamente menor en la parte superior de la lente y una zona de lectura con un aumento medio relativamente mayor en la parte inferior de la lente. En toda la zona central que se extiende entre las zonas de visión de lejos y de lectura, el aumento medio aumenta suavemente y sustancialmente monotónicamente en la dirección desde la zona de visión de lejos hasta la zona de lectura. En una realización preferente, esta zona central tiene al menos 30 milímetros de ancho, pero puede variar en torno a esta anchura según el diseño de la lente. En algunos diseños la anchura mínima de la parte central puede ser aproximadamente de 20 milímetros de ancho, o puede ser aproximadamente de 10 milímetros de ancho.

La distribución resultante de las alturas superficiales -z- puede ser utilizada, a continuación, de cualquiera de las siguientes formas:

1. para mecanizar directamente la superficie progresiva sobre una lente de plástico o cristal;
2. para mecanizar directamente un molde de cristal o metal que será utilizado para fabricar una lente de plástico progresivo o por fundición o por moldeo; o
3. para mecanizar un conformador de cerámica, o de forma convexa que será utilizado para fabricar una lente progresiva de cristal mediante un proceso de moldeo por gravedad, o una forma cóncava que se utilizará para fabricar un molde de cristal mediante un moldeo por gravedad a partir del cual que se puede moldear una lente progresiva de plástico.

Tal como se ha descrito anteriormente, el cálculo de las alturas superficiales -z- se lleva a cabo preferentemente en un ordenador. Los datos resultantes que representan la distribución de las alturas superficiales se almacenan preferentemente en la memoria del ordenador, y pueden ser guardadas en un disco duro, en CD-ROM, en cinta magnética u en otro medio de grabación adecuado.

La mecanización se lleva a cabo preferentemente transmitiendo electrónicamente los datos de la altura superficial a una fresadora o rectificadora de control numérico (CNC). Los ejemplos de máquinas CNC adecuadas incluyen una Schneider HSC 100 CNC para fabricar directamente la superficie progresiva sobre una lente de plástico o cristal, una Mikron VCP600 para fabricar un molde de cristal o metal y una Mikron WF32C o una Schneider HSG 100 CNC

para fabricar un conformador de cerámica, aunque otras máquinas adecuadas son bien conocidas de los expertos en la técnica.

5 En cada uno de los casos anteriores la distribución de las alturas superficiales -z- de ser procesada posteriormente para adecuarse al controlador CNC determinado utilizado en la máquina rectificadora o fresadora. La compensación debe ser incorporada en la forma geométrica de la superficie que depende del tamaño y del tipo de herramienta rectificadora o de la fresa utilizada para asegurar que se produce la superficie diseñada. En el caso de la mecanización de los conformadores cerámicos para ser utilizados en un proceso de moldeo por gravedad, se debe incluir una compensación adicional en la distribución de las alturas superficiales -z- para tener en cuenta los cambios no deseados de la forma geométrica. Estos resultan del doblado y del flujo del cristal cuando se calienta a su temperatura de ablandamiento, para permitir que adopte la forma del conformador cerámico.

15 Las lentes fabricadas según la presente invención no precisan tener un perfil circular. Como parte de cualquiera de los procedimientos de fabricación anteriores, las lentes pueden ser dotadas de cristales de una diversidad de perfiles para una variedad de monturas de gafas. Además, la altura del borde de la lente utilizada en el cálculo de las alturas superficiales -z- de la lente no es preciso que sea el borde físico de la pieza inicial de la lente. Por ejemplo, una lente circular de 70 milímetros corriente puede tener alturas de borde definidas 10 milímetros hacia el interior del borde actual de la pieza inicial de la lente, dependiendo del tamaño de la lente finalmente requerida. En este ejemplo, la especificación del diseñador del aumento medio y el cálculo de las alturas superficiales -z- de la lente se aplicarán a la zona de la lente dentro del límite en el que está definida la altura del borde de la lente, en vez de en toda la superficie de la pieza inicial de la lente.

20 En la figura 22 se da a conocer un diagrama de flujo que muestra el proceso descrito anteriormente. El diagrama de flujo muestra cada una de las etapas principales implicadas en el proceso de diseño y de fabricación de una lente progresiva tal como se ha descrito anteriormente. Se debe observar que la figura 22 describe únicamente un ejemplo de un proceso de diseño y fabricación y no todas las etapas mostradas en el diagrama pueden ser necesarias para un diseño de lente determinado.

30 Así pues, se ha descrito un procedimiento mejorado para el diseño de lentes oftálmicas de aumento de adición progresiva. Se apreciará que el procedimiento se ha descrito en términos de varias realizaciones, que son susceptibles de varias modificaciones y formas alternativas. En consecuencia, aunque se han descrito realizaciones específicas, éstas son únicamente ejemplos y no son limitativas del alcance de la invención.

**REIVINDICACIONES**

5 1. Lente progresiva que comprende una superficie que tiene una altura variable e incluye una zona de visión de lejos (32) y una zona de lectura (34), en la que el aumento medio sobre la superficie de la lente varía según un conjunto de curvas (28, 30) formando contornos del mismo aumento medio sobre la superficie de la lente, en que uno de los contornos de igual aumento medio forma el límite de una zona de aumento medio constante en la zona de visión de lejos y es una elipse con una proporción del eje mayor al eje menor en un margen de aproximadamente 1,1 a 3,0.

10 2. Lente progresiva, según la reivindicación 1, en la que el aumento medio -M- varía a lo largo de una trayectoria de conexión (24) que se extiende desde un primer punto (20) en la zona de visión de lejos (32) a un segundo punto (22) en la zona de lectura (34) según una función de la forma:

$$M(y) = M_D + \left[ \frac{M_R - M_D}{2} \right] \left[ 1 - \cos \left( \pi \frac{y_D - y}{y_D - y_R} \right) \right]$$

15 en que -M<sub>D</sub>- es el aumento medio especificado en el primer punto (0, y<sub>D</sub>) (20) en la zona de visión de lejos (32) y -M<sub>R</sub>- es el aumento medio especificado en el segundo punto (0, y<sub>R</sub>) (22) en la zona de lectura (34).

20 3. Lente progresiva, según la reivindicación 2, en la que el astigmatismo a lo largo de la trayectoria de conexión (24) es menos de 0,15\* (M<sub>R</sub> - M<sub>D</sub>) en que -M<sub>D</sub>- es el aumento medio especificado en un primer punto (20) en la zona de visión de lejos (32) y -M<sub>R</sub>- es el aumento medio especificado en un segundo punto (22) en la zona de lectura (34).

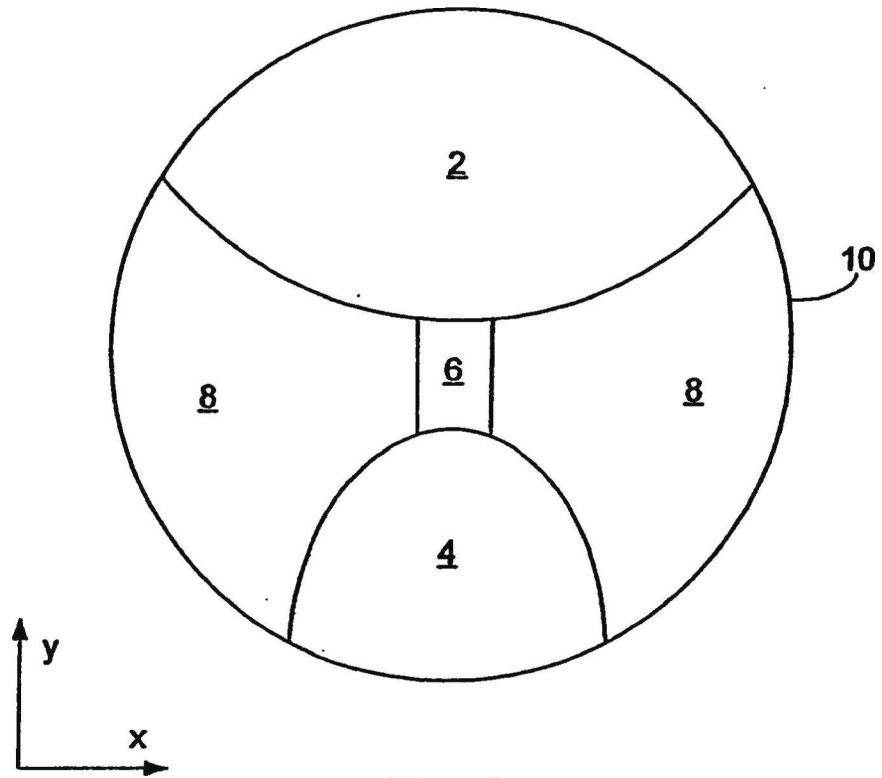


Fig. 1

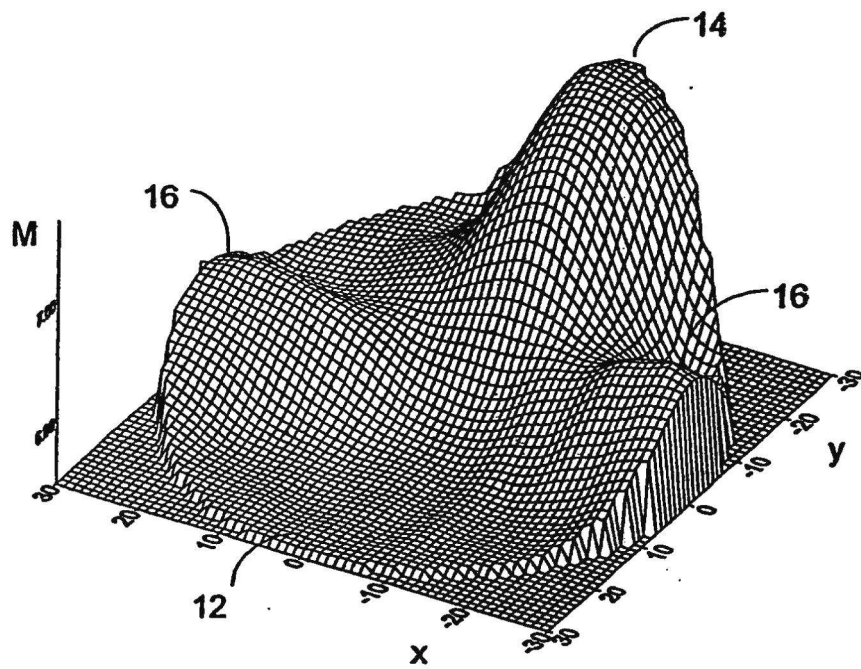


Fig. 2

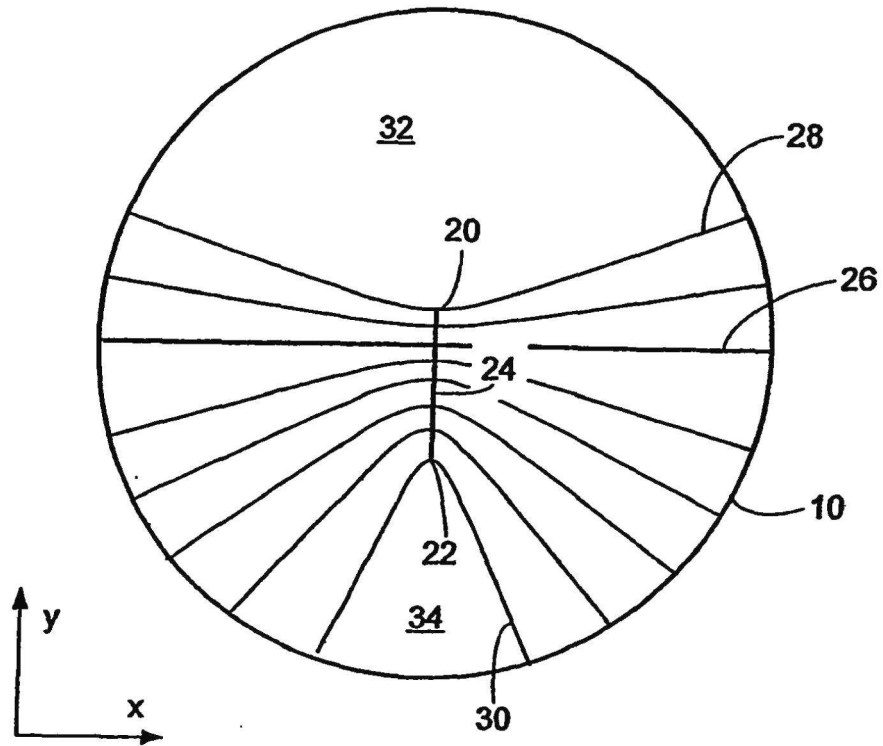


Fig. 3

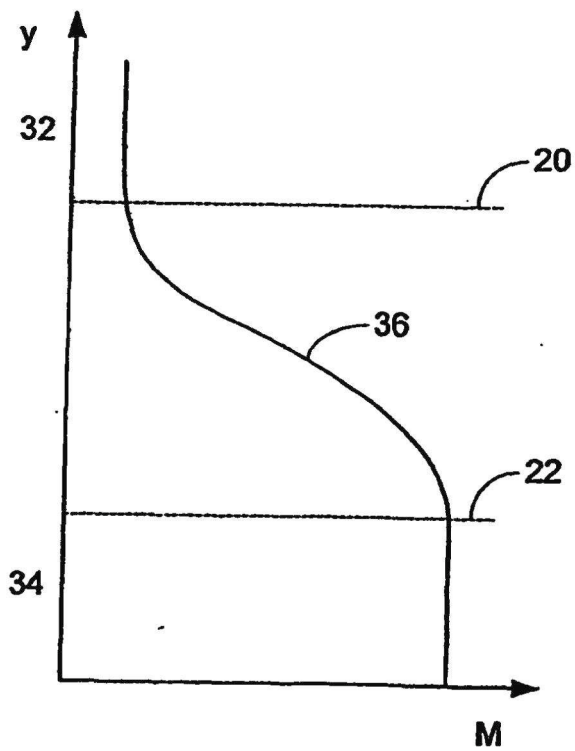


Fig. 4



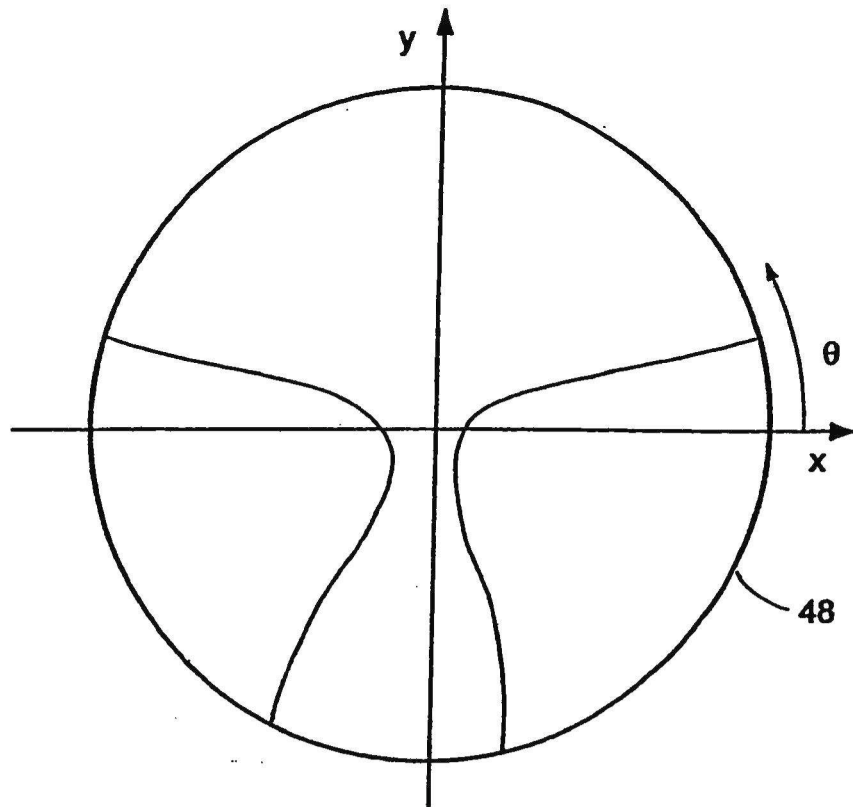


Fig. 5

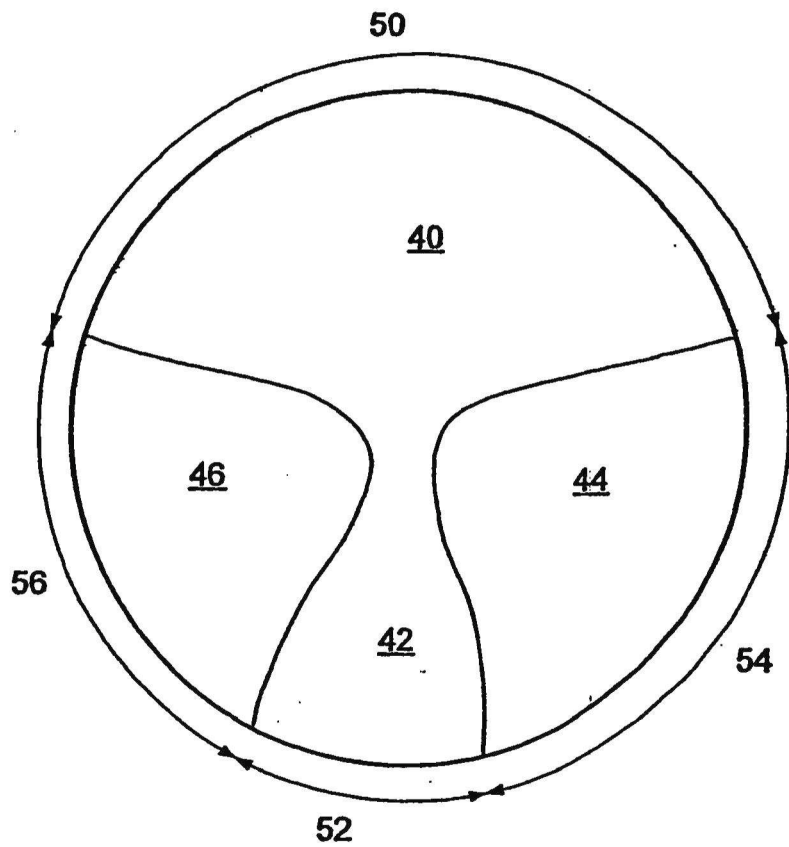


Fig. 6

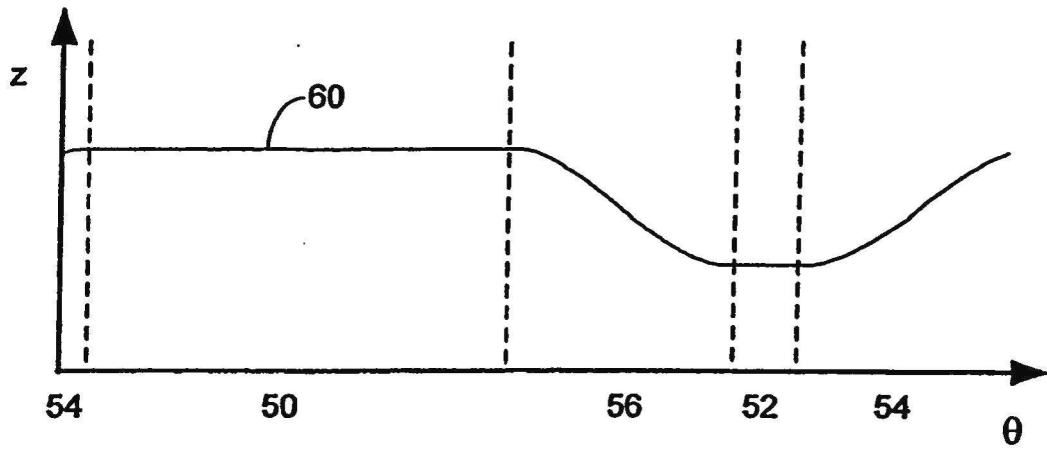


Fig. 7

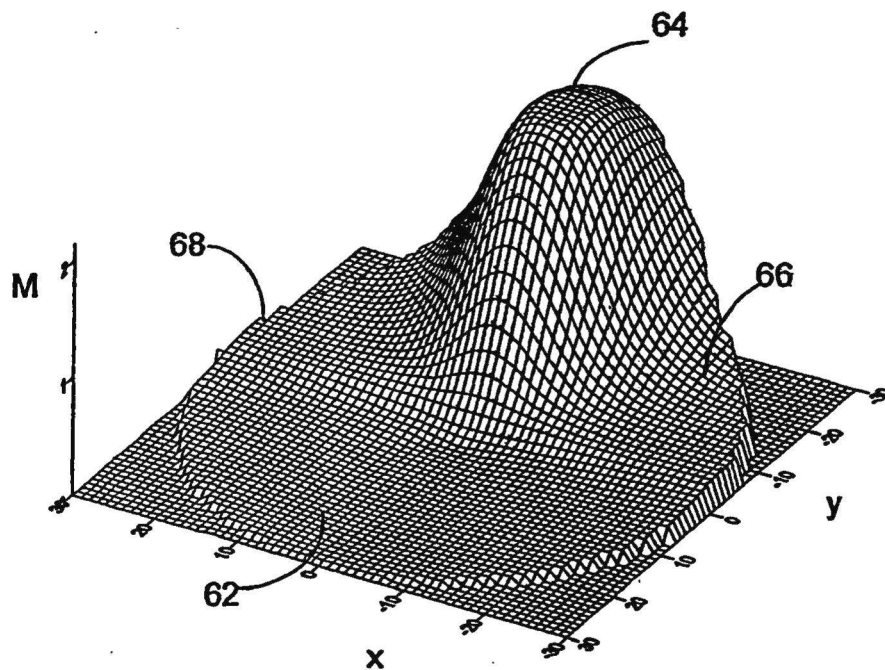


Fig. 8

M (dioptrías)

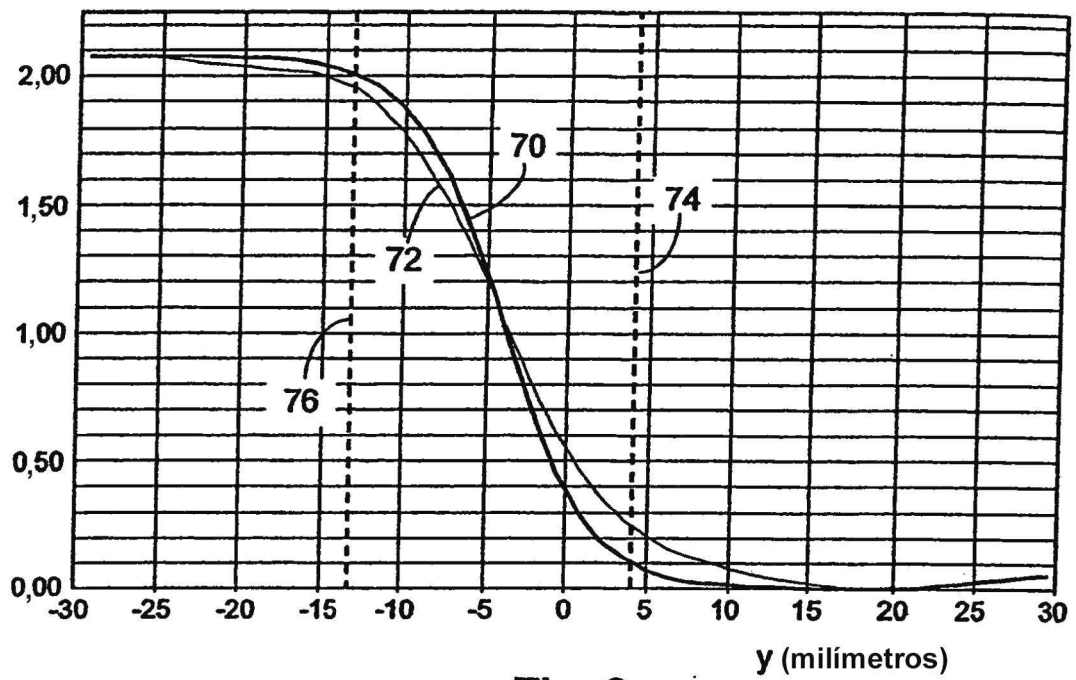


Fig. 9

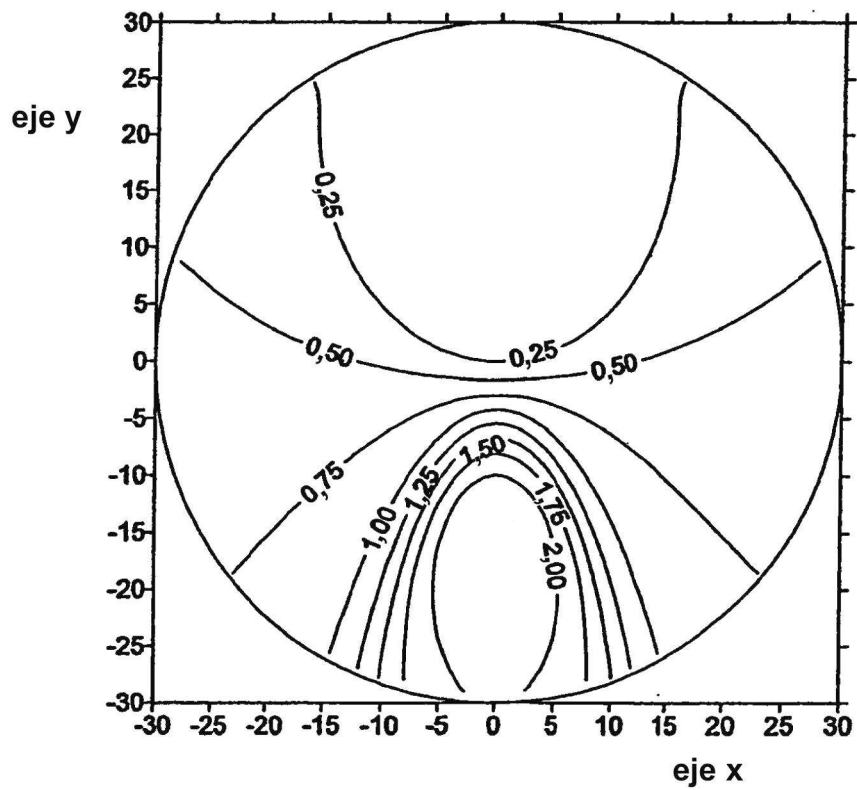


Fig. 10

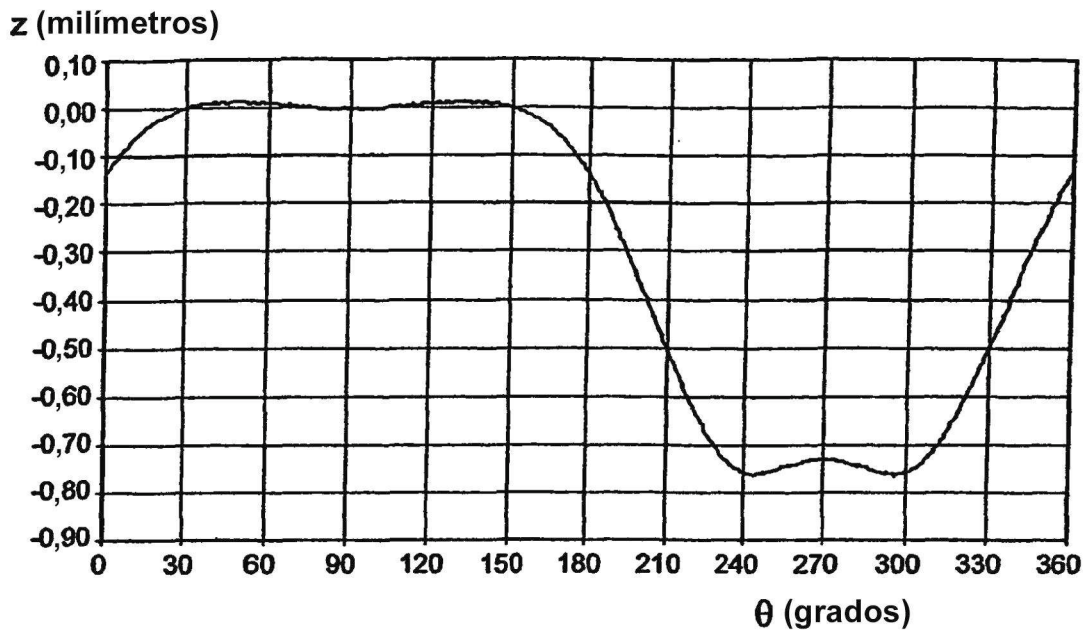


Fig. 11

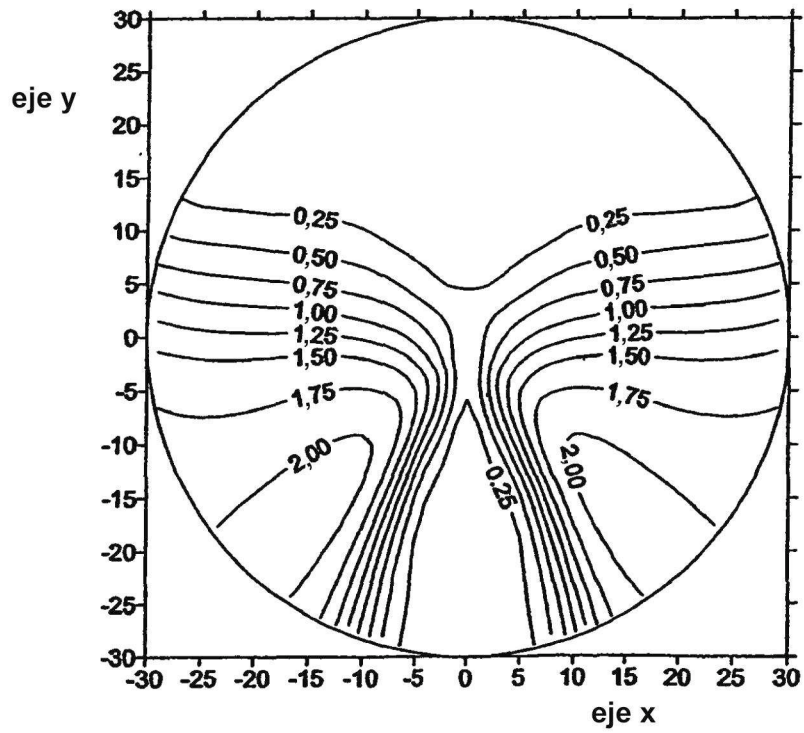


Fig. 12

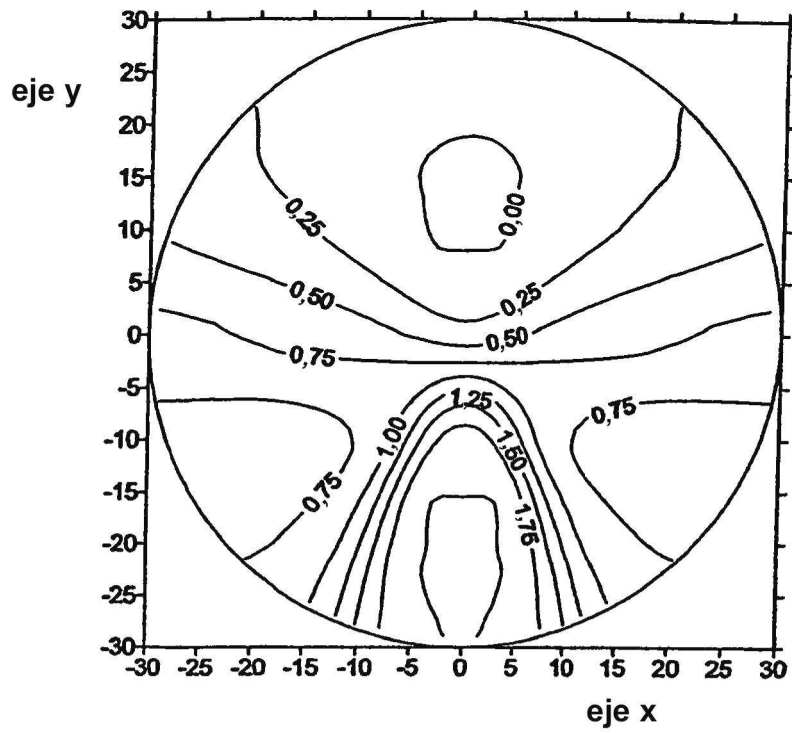


Fig. 13

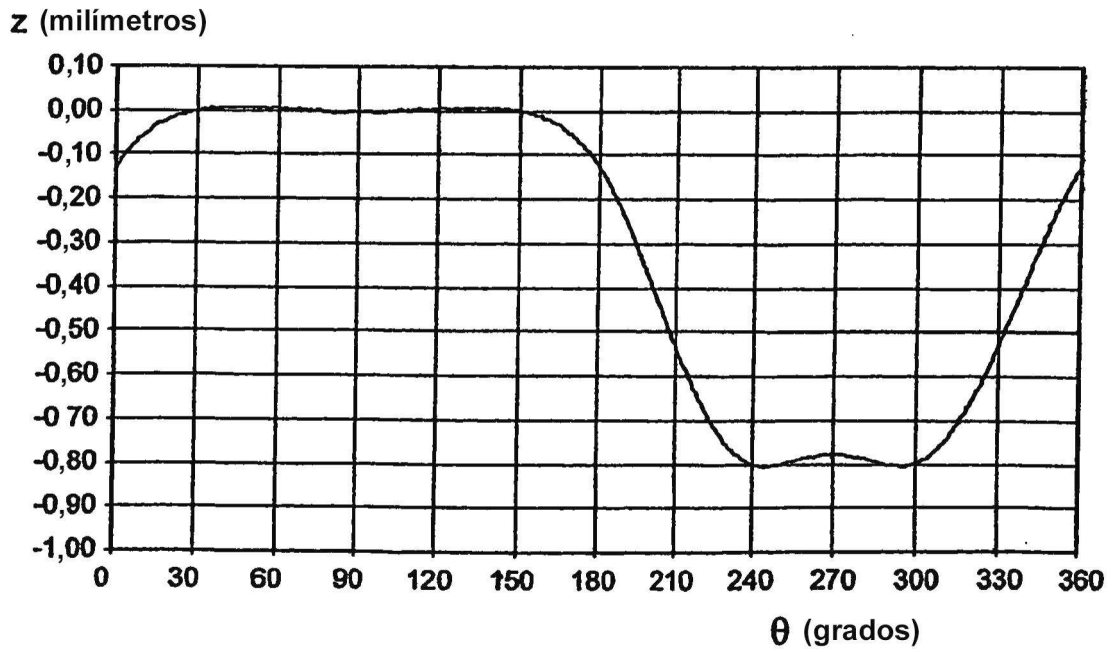


Fig. 14

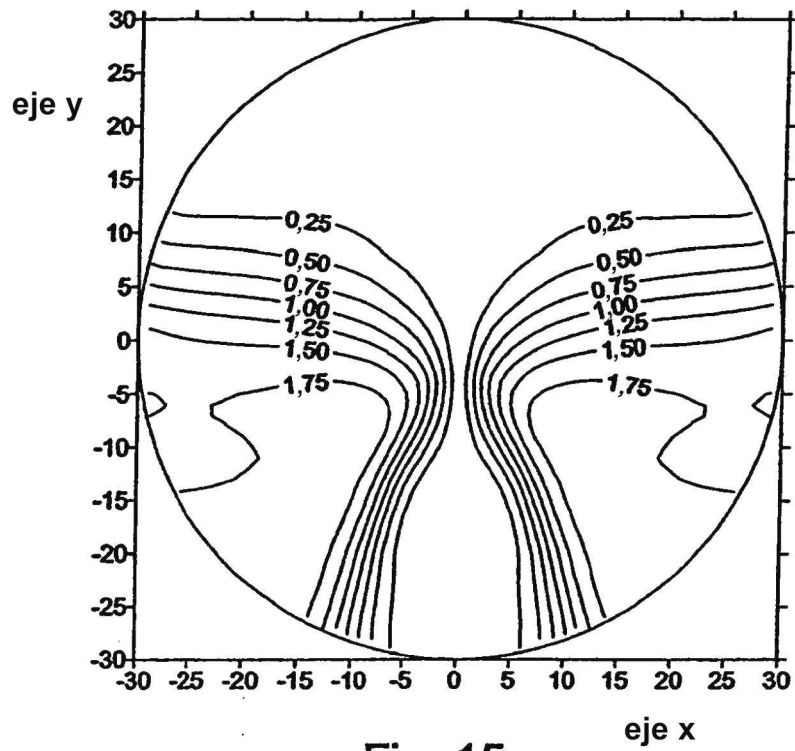


Fig. 15

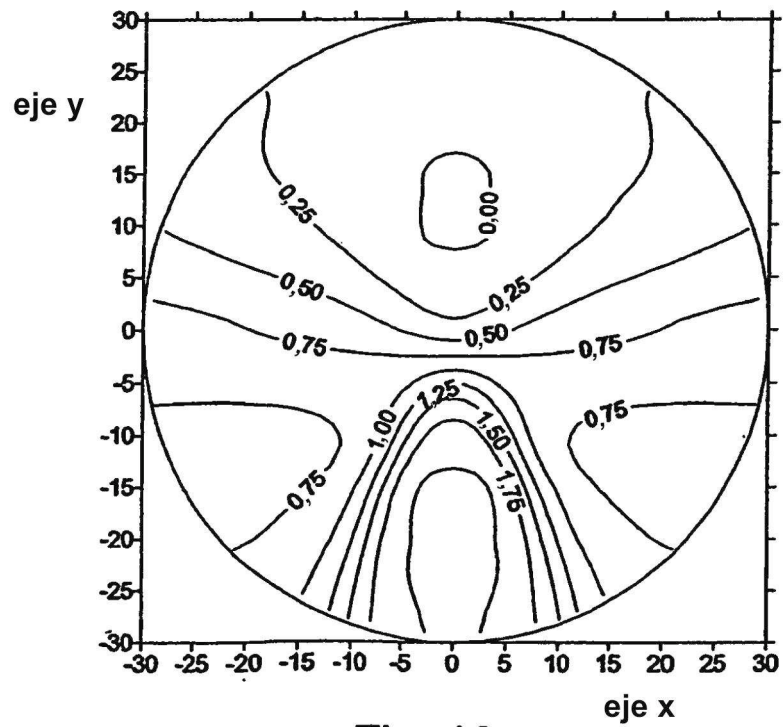


Fig. 16

M (dioptrías)

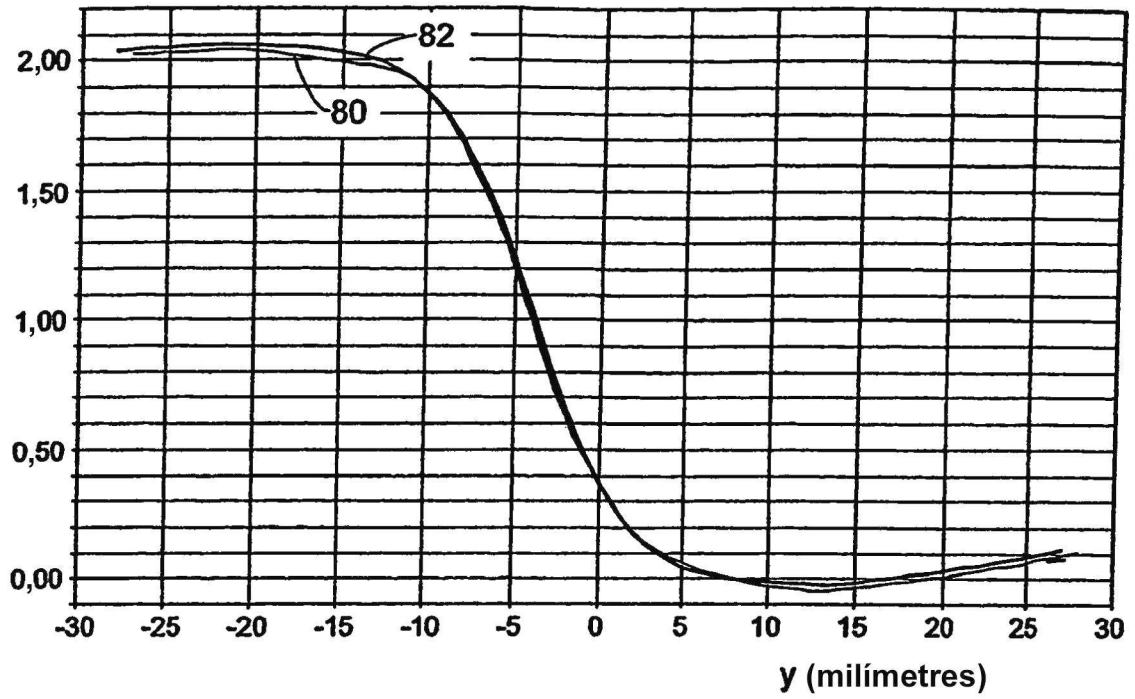


Fig. 17

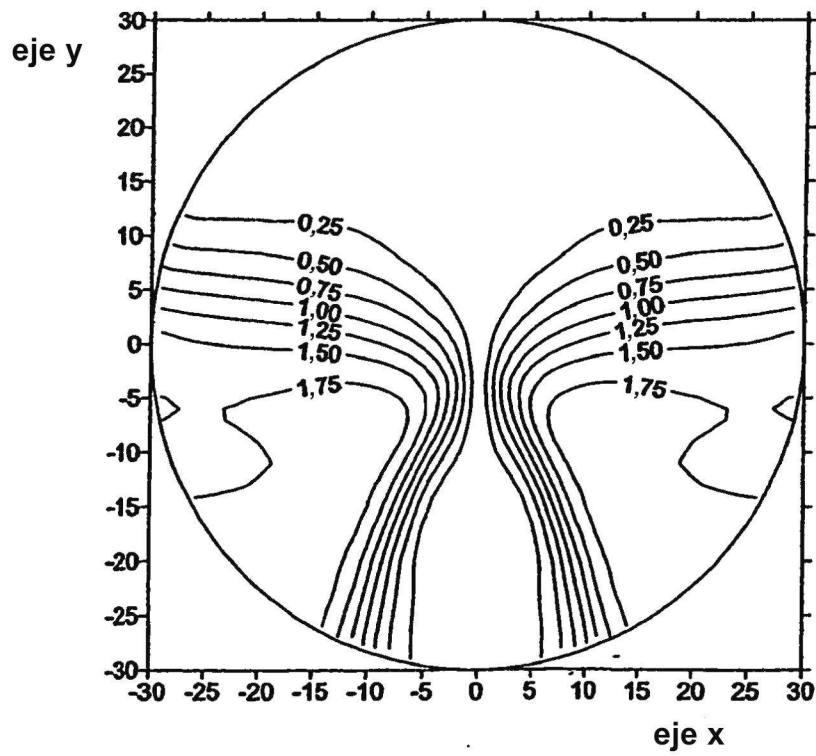


Fig. 18

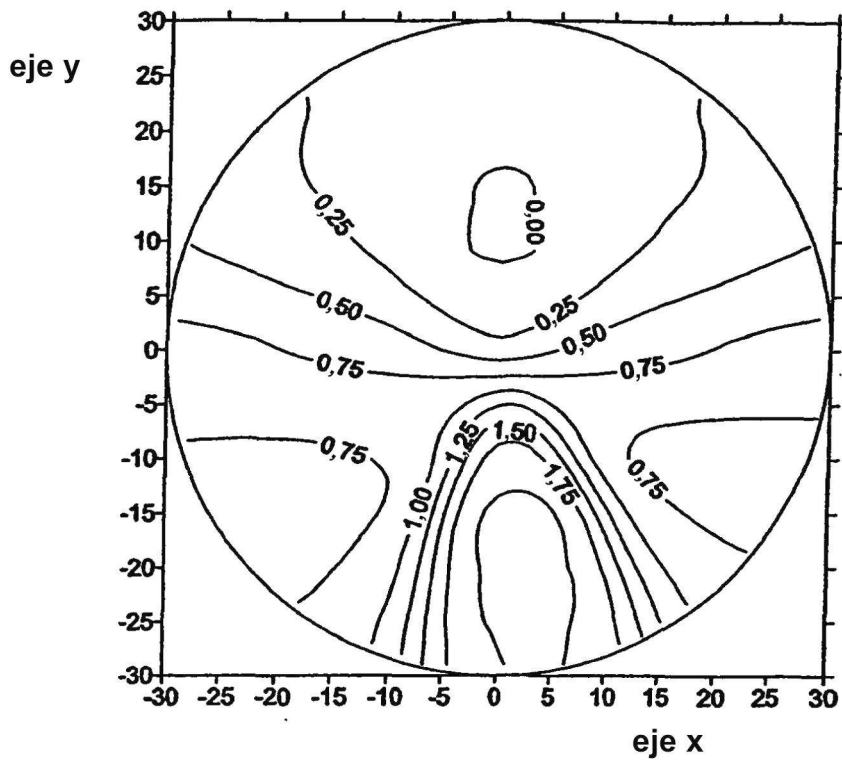


Fig. 19

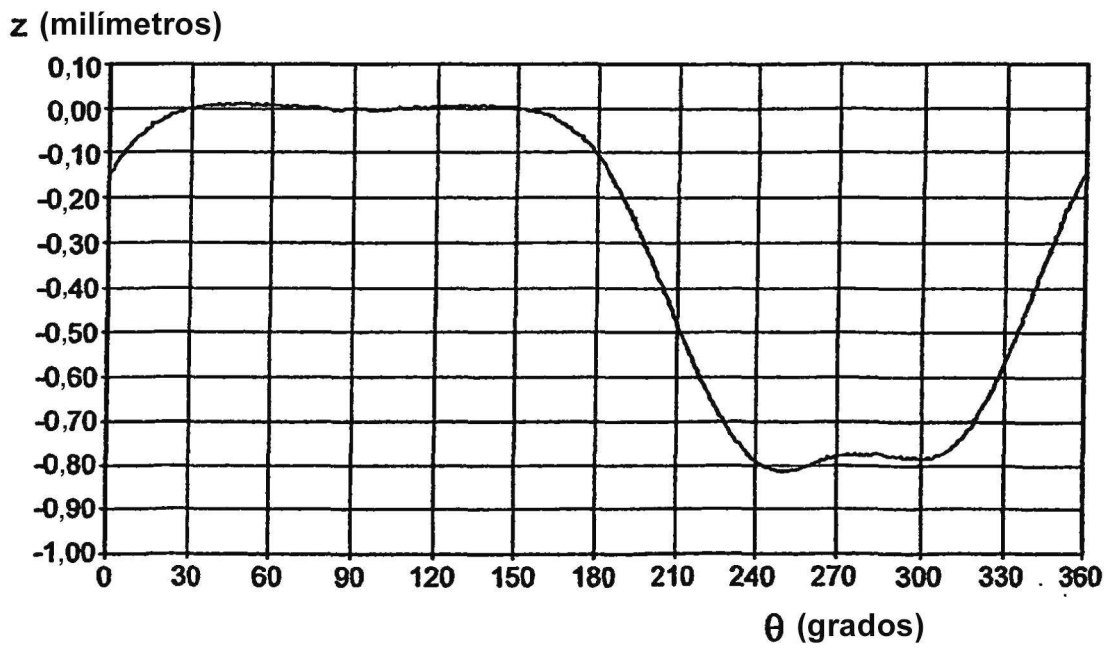


Fig. 20



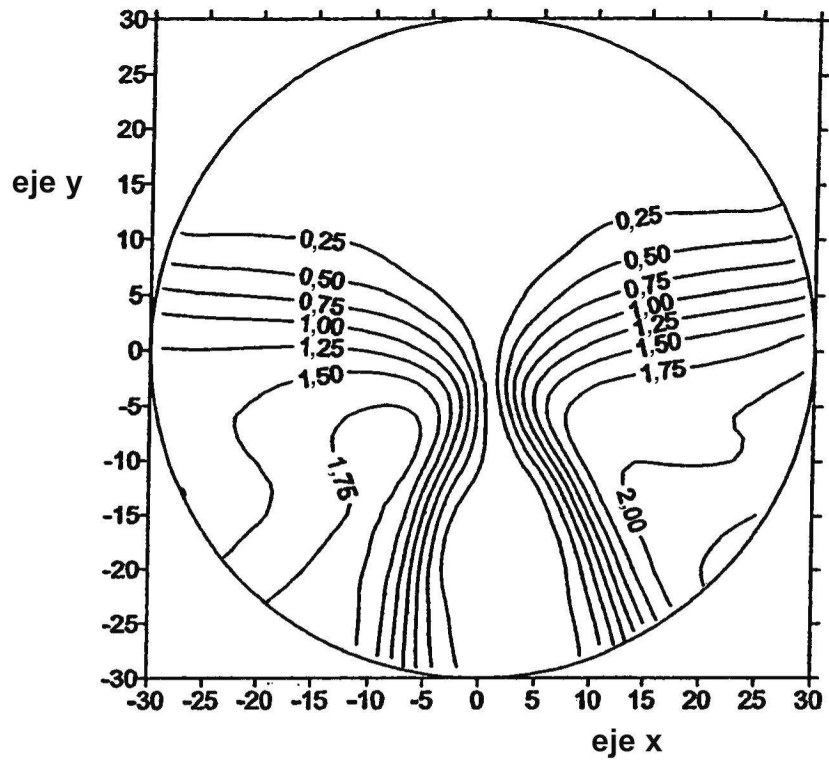
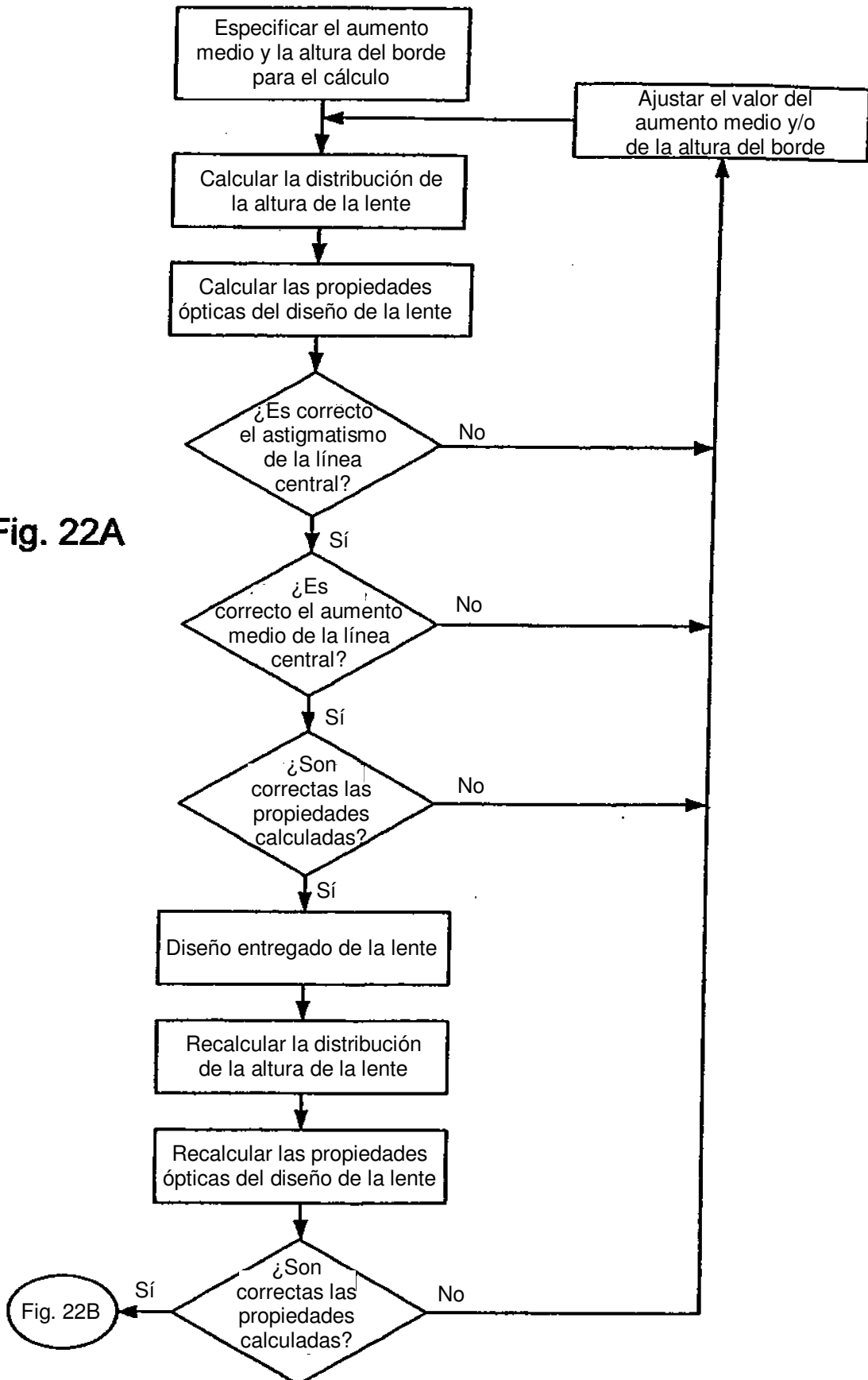
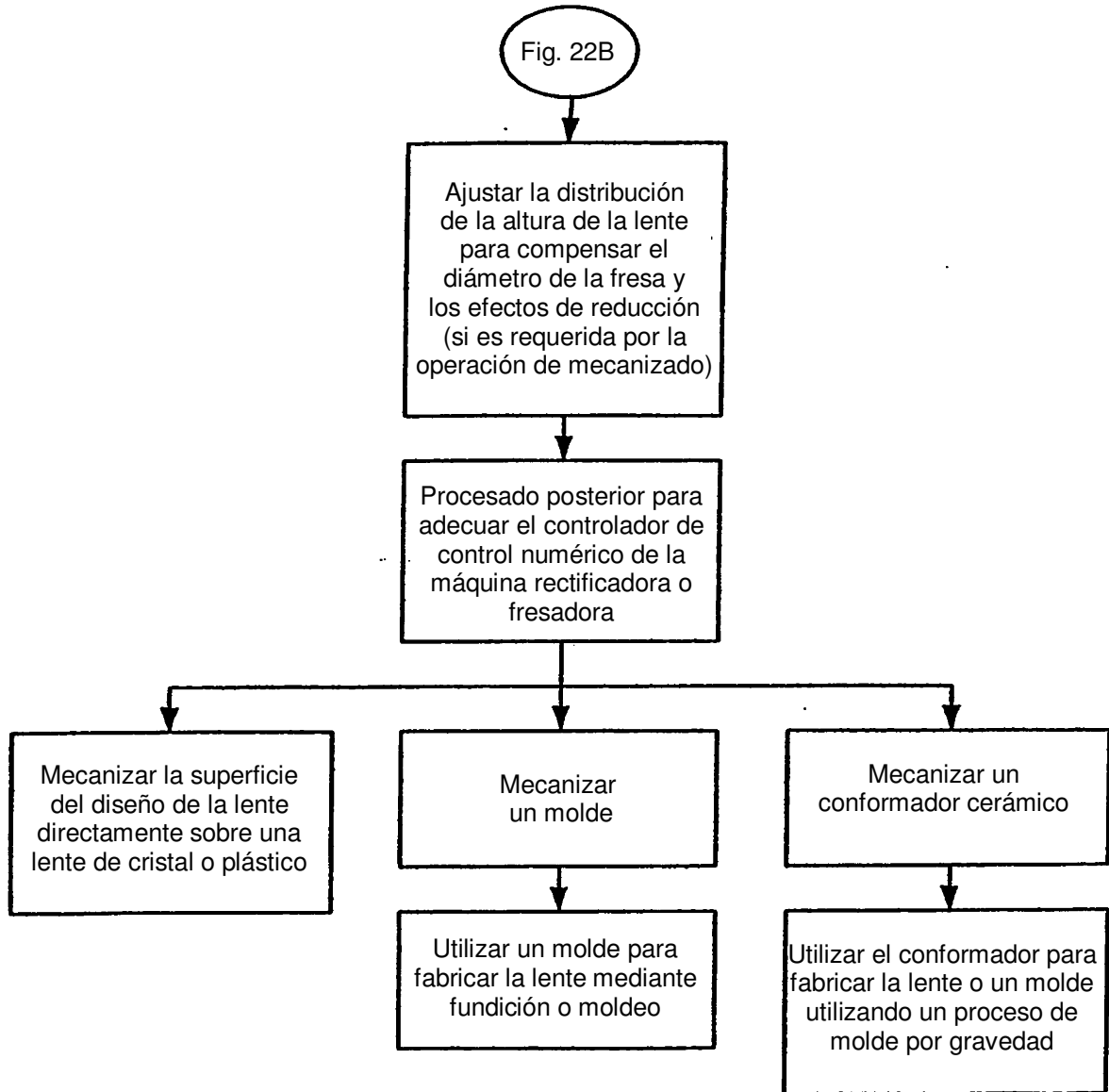


Fig. 21

Fig. 22A





**Fig. 22B**