

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 542**

51 Int. Cl.:
G02C 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **02807484 .7**
96 Fecha de presentación: **31.05.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1518140**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.03.2005**

54 Título: **LENTES CON PODER DE ADICIÓN PROGRESIVA.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.03.2012

73 Titular/es:
**CROSSBOWS OPTICAL LIMITED
AVENUE ROAD, LURGAN, CRAIGAVON
CO. ARMAGH BT66 7BQ, GB**

72 Inventor/es:
**STEELE, Trevor;
MCLOUGHLIN, Hugh y
PAYNE, Derek**

74 Agente/Representante:
Carvajal y Urquijo, Isabel

ES 2 376 542 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

Lentes con poder de adición progresiva

La invención se relaciona de manera general con lentes oftálmicos con poder de adición progresiva y, en particular, con un sistema y método mejorado para diseñar tales lentes.

5 Los lentes de gafas bifocales se han utilizado durante muchos años por personas que sufren de presbicia, una afección médica que provoca la pérdida de acomodación del ojo con el avance de la edad resultando en dificultad al enfocar. Los lentes bifocales suministraron una solución al dividir los lentes horizontalmente en dos regiones, que tienen cada una un diferente poder óptico. La región superior de los lentes se diseñó con el poder óptico apropiado para la visión a distancia, mientras que la región inferior se diseñó para visión más cercana (por ejemplo lectura).
 10 Esto le permite al portador enfocar a diferentes distancias al simplemente cambiar la posición de fijación de la mirada. Sin embargo, los portadores experimentan frecuentemente incomodidad debido a la transición abrupta entre las diferentes regiones de los lentes. Como consecuencia, se desarrollaron lentes de adición progresiva para suministrar una transición suave en el poder óptico entre las regiones de los lentes.

De manera convencional, los lentes de adición progresiva se describen usualmente por tener tres zonas: una zona superior para visión lejana, una zona inferior para visión cercana, y un corredor de progresión intermedia que hace puente entre las dos primeras zonas. La Figura 1 es un diagrama de unos lentes progresivos típicos mostrados en elevación vertical (vista de planta). Los lentes tienen una zona de distancia 2 con un poder medio relativamente inferior dado y una zona de lectura 4 con un poder medio relativamente mayor. Un corredor de progresión intermedia 6 con poder medio variante y usualmente creciente conecta las zonas de distancia y de lectura. Las regiones circundantes 8 que unen el corredor de progresión y el límite de los lentes 10 (es decir, el borde de los lentes) también se muestran.

Las metas al diseñar lentes progresivos han sido suministrar tanto visión esencialmente clara en las zonas superior e inferior 2 y 4 como variación suave en el poder óptico a través del corredor de progresión 6, mientras que al mismo tiempo se controla la distribución del astigmatismo y otras aberraciones ópticas.

25 Las técnicas de diseño anterior requerían que los lentes fueran esféricos a través de la zona de distancia y lectura, y empleaba varios métodos de interpolación para determinar la forma de los lentes en el corredor de progresión y las regiones circundantes. Estas técnicas sufrieron de varias desventajas. Aunque las propiedades ópticas de la zona de distancia, la zona de lectura, y el corredor de progresión fueron usualmente satisfactorias, las regiones que se unen al corredor de progresión y el borde de los lentes tendían a tener un astigmatismo significativo. Los métodos de interpolación diseñados para comprimir el astigmatismo en las regiones cercanas al corredor de progresión producían gradientes relativamente altos en el poder medio, el astigmatismo y el prisma. El campo visual resultante no era tan suave y continuo como sería deseable para la comodidad, facilidad de enfoque, y maximizar el área utilizable efectiva de los lentes.

La Figura 2 muestra una representación tridimensional de la distribución de poder medio sobre la superficie de un diseño de lentes típico progresivo. El poder medio M se grafica en la dirección vertical y el disco de los lentes se muestra contra las coordenadas x y y . El disco de los lentes se ve en un ángulo de menos de 90° por encima del plano de los lentes. La orientación de los lentes es opuesta a aquella en la Figura 1, el área de distancia con el poder medio bajo 12 mostrado en el primer plano de la Figura 2 y el área de lectura con un poder medio alto 14 mostrado en la parte trasera. Los gradientes altos en el poder medio son evidentes, especialmente en las regiones circundantes 16.

Muchos sistemas de diseño de lentes progresivos le permiten al diseñador establecer propiedades ópticas en solamente unos pocos puntos aislados, curvas, o zonas de los lentes y emplean una variedad de métodos de interpolación para determinar la forma y las propiedades ópticas del resto de los lentes.

La Patente U.S. No. 3,687, 528 de Maitenaz, por ejemplo, describe una técnica en la cual el diseñador especifica la forma y las propiedades ópticas de una curva base que corre desde la parte superior de los lentes a su parte inferior. La curva base, o "línea de meridiano" es la intersección de la superficie de los lentes con el meridiano vertical principal, un plano que divide los lentes en dos mitades simétricas. El diseñador está restringido por el requisito de que el astigmatismo se desaparece en cualquier parte a lo largo de la línea del meridiano (es decir, la línea del meridiano debe ser "umbilical"). Maitenaz describe varias fórmulas explícitas para extrapolar la forma de los lentes horizontalmente desde un meridiano umbilical.

La Patente U.S. No. 4, 315, 673 de Guilino describe un método en el cual el poder medio se especifica a lo largo de un meridiano umbilical y suministra una fórmula explícita para extrapolar la forma del resto de los lentes.

En un ensayo de Julio 20, 1982, "los Lentes de Poder Progresivo TRUVISION®", de J. T. Winthrop describen un método de diseño de lentes progresivos en el cual las zonas de distancia y de lectura son esféricas. El método de diseño descrito incluye especificar el poder medio sobre los perímetros de la distancia y las zonas de lectura, que se tratan como los únicos límites.

5 La Patente U.S. No. 4, 514, 061 de Winthrop también describe un sistema de diseño en el cual las áreas de distancia y de lectura son esféricas. El diseñador especifica el poder medio en las áreas de distancia y lectura, así como también a lo largo de un meridiano umbilical que conecta las dos áreas. La forma del resto de los lentes se determina mediante extrapolación a lo largo de un conjunto de varias superficies de una solución de la ecuación de Laplace sujeta a las condiciones límite en las áreas de distancia y de lectura pero no en el borde de los lentes. El diseñador de los lentes no puede especificar la altura de los lentes directamente en el borde de los lentes.

10 La Patente U.S. No. 4, 861, 153 de Winthrop también describe un sistema en el cual el diseñador especifica el poder medio a lo largo del meridiano umbilical. De nuevo, la forma del resto de los lentes se determina mediante extrapolación a lo largo de un conjunto de superficies a nivel de una solución en la ecuación de Laplace que intercepta el meridiano umbilical. No se suministran medios para que el diseñador de los lentes especifique la altura de los lentes directamente en el borde de los lentes.

15 La Patente U.S. No. 4, 606, 622 de Furter y G. Furter, "Zeiss Gradal HS- The progressive addition lens with maximum wearing comfort". Información Zeiss 97, 55-59, 1986, describe un método en el cual el diseñador de los lentes especifica el poder medio de los lentes en un número de puntos especiales en el corredor de progresión. La forma de superficie completa es luego extrapolada utilizando tiras flexibles. El diseñador ajusta el poder medio en los puntos especiales con el fin de mejorar las propiedades totales de la superficie generada.

20 La Patente U.S. No. 5,886, 766 de Kaga et al, describe un método en el cual el diseñador de los lentes suministra solamente el "concepto de los lentes". El concepto del diseño incluye especificaciones tales como el poder medio en la zona de distancia, el poder de adición, y una forma aproximada total de la superficie de los lentes. En lugar de ser especificado directamente por el diseñador, la distribución del poder medio sobre el resto de la superficie de los lentes se calcula posteriormente.

25 La Patente U.S. No. 4,838, 675 de Barkan et al, describe un método para mejorar unos lentes progresivos cuya forma ya se ha descrito a fondo mediante una función de superficie base. Unos lentes progresivos mejorados se calculan al seleccionar una función definida sobre alguna sub región de los lentes, donde la función seleccionada se va a agregar a la función de superficie base. La función seleccionada se selecciona de una familia de funciones inter relacionadas mediante uno o unos pocos parámetros; y la selección óptima se hace al extremar el valor de una medición de méritos pre definida.

30 En un sistema descrito por J. Loos, G. Greiner y H. P. Seidel, "Designing a progressive lens", Computer Aided Design 30, 595-602, 1998 y por M. Tazeroualti, "Designing a progressive lens", en el libro editado por P. J. Laurent et al, Curves and Surfaces in Geometric Design, AK Peters, 1994, pp, 467-474, la superficie de los lentes se define mediante una combinación lineal de funciones de la tira flexible. Los coeficientes de las funciones de la tira flexible se calculan para minimizar la función de costo. El sistema de diseño no impone condiciones límites sobre la superficie, y por lo tanto los lentes que requieren un perfil de altura con borde de lentes específico no se puede diseñar utilizando este método.

35 La Patente U.S. No. 6, 302, 540 de Katzman et al., describe un sistema de diseño de lentes que le solicita al diseñador especificar una función de costo dependiente de la curvatura. En el sistema Katzman, el disco de los lentes está preferiblemente particionado en triángulos. El sistema genera una forma de superficie de lentes que es una combinación lineal de las "polinomiales de forma" independientes, de los cuales existen al menos siete veces cuantos triángulos de particionamiento hay (8: 17-40). La forma de la superficie generada aproximadamente minimiza una función de costo que depende no linealmente de los coeficientes de los polinomiales de forma (10: 21-50). Calcular los coeficientes requiere invertir matrices de tamaño igual repetidamente al número de coeficientes. En razón a que cada forma de polinomial contribuye a la forma de superficie sobre cada triangulo, en general ninguno de los elementos de las matrices se desvanece. Como resultado, invertir las matrices y calcular los coeficientes toma tiempo proporcional a al menos el segundo poder del número de los polinomiales de forma.

40 La imprecisión inherente de los polinomiales de forma (10:10-14) implica que el disco se debe someter a partición más finamente cuando quiera que el poder medio varía más rápidamente. Estas consideraciones establecen un límite inferior sobre el número de coeficientes polinomiales de forma que tendrían que ser calculados y de esta manera el tiempo que el sistema necesitaría para calcular la forma de la superficie de los lentes. En razón a que el sistema Katzman requiere tiempo que es al menos cuadrático en el número de triángulos para calcular la superficie de los lentes, el sistema es inherentemente demasiado lento para regresar la superficie de los lentes calculada al diseñador lo suficientemente rápido para que el diseñador trabaje interactivamente con el sistema. El retraso del procesamiento inherente evita que el diseñador sea capaz de crear un diseño de lentes y luego hacer los ajustes al diseño mientras observa los efectos de los ajustes en tiempo real.

5 La Patente U.S. No. 5, 123, 725 de Winthrop es una continuación en parte de la Patente U.S. No. 4, 861, 153 y además describe ejemplos específicos de los lentes progresivos que son diseñados para usar a unas distancias de trabajo cercanas e intermedias y que enfatizan la visión de distancia a expensas de la visión cercana. Como en la Patente Padre, Patente U. S. No. 5,123,725 no describe calcular la superficie de unos lentes como una solución de una ecuación diferencial parcial del tipo elíptica, ni al especificar la altura del borde de los lentes como una condición límite, además, tanto la Patente U.S. No. 5, 123, 725 como su padre describen lentes progresivos diseñados como sistemas bipolares donde las regiones de distancia y cercanas se definen como puntos matemáticos y el poder de la superficie varía constantemente entre los dos puntos. Así, ninguna de estas referencias describe lentes que tengan áreas de poder medio constante.

10 La Patente U.S. No. 4, 240, 719 de Guilino et al, describe en términos amplios un método en el cual uno determina los valores de refracción de la superficie a lo largo de un meridiano que se aproxima a una línea umbilical, y a lo largo de líneas de valor de refracción de superficie promedio igual que se interceptan y se extienden a lo largo de cualquier lado del meridiano principal a la periferia de los lentes. La Patente U.S. No. 4, 240, 719 no describe especificar la altura del borde de los lentes.

15 Ninguno de los sistemas de diseño anterior suministra un método simple por medio del cual el diseñador de lentes pueda especificar las propiedades ópticas deseadas sobre la superficie completa de los lentes y derivar un diseño consistente con aquellas propiedades ópticas. Como consecuencia, muchos de estos sistemas anteriores dan como resultado defectos ópticos en las regiones circundantes de los lentes y unos gradientes innecesariamente altos en el poder medio. Además, la complejidad computacional de algunos de los sistemas anteriores dan como resultado un proceso de diseño largo que no le permite al diseñador de lentes diseñar los lentes interactivamente. Muchos de los sistemas anteriores tampoco incluyen una definición de la altura de los lentes alrededor de la periferia de los lentes y por lo tanto no maximizan el área útil de los lentes.

25 La presente invención busca suministrarle al diseñador de lentes unos medios para especificar como parámetros tanto el poder medio de los lentes sobre su superficie completa como la altura de los lentes alrededor de su límite y obtener la forma de la superficie de los lentes consistente con aquellos parámetros en un tiempo lo suficientemente corto para que el diseñador haga uso de la interactividad. Se puede crear un diseño de lentes que tenga unas propiedades ópticas continuas suaves deseables para la comodidad del portador, la facilidad de adaptación, y maximizar el área utilizable efectiva de los lentes.

30 La presente invención difiere de los procesos de diseño previos que generalmente inician al modelar la forma de la superficie de los lentes directamente, calculando las propiedades ópticas, luego intentando modificar la forma de la superficie con el fin de optimizar las propiedades ópticas. El proceso de la técnica anterior de variar la forma de la superficie para lograr las propiedades ópticas deseadas es numéricamente inestable. Por esta razón, no se puede confiar en los procesos de diseño previos para generar diseños de lentes suficientemente rápido para que el diseñador lo utilice interactivamente. En contraste con los procesos de diseño previos, la presente invención inicia con una prescripción de la propiedad óptica clave del poder medio sobre la superficie de los lentes, junto con la altura del borde de los lentes, y luego calcular la forma de la superficie de los lentes.

35 De acuerdo con la invención, se especifica el poder medio en una pluralidad de puntos distribuida sobre la superficie completa de los lentes y la altura de los lentes se especifica alrededor del borde de los lentes. Se determina la altura de los lentes en la pluralidad de puntos consistentes con el poder medio especificado y la altura del borde de los lentes en parte al encontrar una solución única a una ecuación diferencial parcial del tipo elíptico sujeta a la altura del borde de los lentes como una condición límite.

40 La presente invención incorpora preferiblemente un método para redistribuir el astigmatismo en el diseño de los lentes. El método redistribuye el astigmatismo más homogéneamente sobre la superficie de los lentes y reduce los picos del astigmatismo en áreas críticas. La presente invención también preferiblemente incorpora un método para crear diseños de lentes especiales para los ojos izquierdo y derecho mientras se mantiene la simetría horizontal y el balance de prisma.

45 El método de la presente invención se implementa preferiblemente utilizando la ejecución de software en un ordenador para suministrarle a un sistema que defina la forma de superficie de los lentes de una manera interactiva con propiedades ópticas suaves, continuas deseables para la comodidad del portador, la facilidad de adaptación, y el uso efectivo máximo del área de los lentes.

50 Unos lentes progresivos se diseñan de acuerdo al método de diseño descrito. Los ejemplos preferidos de unos lentes incluyen unos lentes progresivos que tienen un área de distancia y un área de lectura y en donde el poder medio sobre la superficie de los lentes varía de acuerdo a un conjunto de curvas formando contornos de poder iso-medio sobre la superficie de los lentes y un contorno que define un área de poder medio constante en el área de distancia es una elipse con una proporción del eje mayor al eje menor en el rango de aproximadamente 1.1 a 3.0. Otra realización preferida de unos lentes incluye un área de distancia que tiene un primer poder medio, un área de lectura que tiene un segundo poder medio mayor que el primer poder medio, y un área central entre las áreas de

distancia y de lectura con un ancho de al menos aproximadamente 10 milímetros de ancho y en el cual el poder medio se incrementa suavemente y de manera sustancial monotónicamente a través del área central en una dirección desde el área de distancia al área de lectura.

5 La invención también comprende un sistema para diseñar lentes progresivos que comprenden un procesador para aceptar entradas que definen la variación de poder medio sobre un sistema de coordenadas que cubre la superficie de los lentes y que define la altura de los lentes alrededor del borde de los lentes y para calcular la altura de los lentes en una pluralidad de puntos sobre la superficie de los lentes al resolver una ecuación diferencial parcial elíptica sujeta a la altura de los lentes en el borde de los lentes como una condición límite, y una memoria para almacenar los valores de altura de los lentes calculados. El diseño de los lentes creado utilizando el sistema de la presente invención se elabora preferiblemente utilizando una máquina de pulido o fresado utilizando técnicas bien conocidas en el arte.

A continuación se describen aspectos adicionales de la invención.

La siguiente es una descripción de ciertas realizaciones de la invención, dadas por vía solamente de ejemplo y con referencia a los siguientes dibujos, en los cuales:

15 Figura 1 es un diagrama de unos lentes progresivos convencionales, mostrados en elevación vertical.

Figura 2 es una representación tridimensional de la distribución de poder medio sobre la superficie de unos lentes progresivos de la técnica anterior.

20 Figura 3 es un diagrama de unos lentes logrado por la invención presente en vista en elevación vertical que muestra una senda de conexión y un subconjunto representativo de un sistema de contornos que interceptan la senda de conexión.

Figura 4 es una gráfica que muestra un ejemplo de una función que especifica el poder medio a lo largo de la senda de conexión.

Figura 5 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un sistema de coordenadas preferido que comprende los ejes x e y y el ángulo θ .

25 Figura 6 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes logrados mediante la invención presente que muestran las áreas límite de los lentes.

Figura 7 es una gráfica que muestra un ejemplo de la función de altura límite que varía desde $\theta = 0$ a 360 grados alrededor del límite de los lentes.

30 Figura 8 es una representación tridimensional de una distribución de poder medio teórica sobre la superficie de unos lentes logrados mediante la presente invención.

Figura 9 es una gráfica que muestra un ejemplo de optimizar el perfil de poder medio a lo largo de la senda de conexión.

Figura 10 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un ejemplo de la distribución de poder medio sobre una familia de elipses de poder iso-medi.

35 Figura 11 es una gráfica que muestra un ejemplo de un perfil de altura de borde alrededor de la periferia de unos lentes.

Figura 12 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un ejemplo de la distribución del astigmatismo resultante de la distribución de poder medio de la Figura 10 y el perfil de altura de borde de la Figura 11.

40 Figura 13 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un ejemplo de la distribución de poder medio alterada para reducir el astigmatismo a lo largo de la línea central.

Figura 14 es una gráfica que muestra un ejemplo de un perfil de altura de borde alterado.

45 Figura 15 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un ejemplo de la redistribución del astigmatismo que resulta de la distribución del poder medio alterado de la Figura 13 y el perfil de altura de borde alterado de la Figura 14.

Figura 16 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un ejemplo de una distribución de poder medio que incorpora el cambio del perfil de poder medio a lo largo de la senda de conexión como se muestra en la Figura 17.

5 Figura 17 es una gráfica que muestra un ejemplo del cambio del perfil de poder medio a lo largo de la senda de conexión para optimizar el poder medio en el área del corredor central.

Figura 18 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un ejemplo de un astigmatismo distribuido derivado de la distribución de altura de superficie recalculada.

Figura 19 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestran un ejemplo de una distribución de poder medio rotada.

10 Figura 20 es una gráfica que muestra un ejemplo de un perfil de altura de borde rotado.

Figura 21 es una vista en elevación vertical de la superficie de unos lentes que muestra un ejemplo de distribución de astigmatismo que resulta de la distribución de poder medio rotada de la Figura 19 y el perfil de altura del borde rotado de la Figura 20.

15 Figura 22 es un diagrama de flujo que muestra las etapas principales de una realización del método de diseño de la presente invención.

La superficie de unos lentes se puede describir mediante la ecuación $z = f(x, y)$, donde x , y , y z son coordenadas cartesianas rectangulares.

En resumen 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 radios principales de curvatura R_1 y R_2 de la superficie son las raíces de la ecuación cuadrática:

20
$$[rt - s^2]R^2 + h[2pqs - (1 + p^2)t - (1 + q^2)r]R + h^4 = 0 \quad (1)$$

Donde $p \equiv \partial_x z$, $q \equiv \partial_y z$; $r \equiv \partial_x^2 z$; $s \equiv \partial_{xy}^2 z$ y $h \equiv \sqrt{(1 + p^2 + q^2)}$

Ver, por ejemplo, I. N. Bronshtein & K. A. Semendyayev, "A Guide Book to mathematics," Verlag Harri Deutsch, 1971.

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

25 principal $\langle \delta \rangle \equiv \left| \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right|$ se relaciona con la propiedad óptica del astigmatismo (también conocida como poder de cilindro) mediante $D = 1000 (n-1) \langle \delta \rangle$ donde D se mide en dioptrías, n es el índice de refracción, y la distancia se mide en milímetros.

30 La curvatura media $\langle \mu \rangle \equiv \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ está relacionada de manera similar con la propiedad óptica del poder medio $M = 1000 (n-1) \langle \mu \rangle$ también medida en dioptrías. Como se utiliza aquí, $\langle \mu \rangle$ es la media de las dos curvaturas principales, y $\langle \delta \rangle$ es la diferencia absoluta de las dos curvaturas principales.

35 En una realización de la presente invención, el diseñador preferiblemente prescribe $M(x,y)$ y así $\langle \mu \rangle (x,y)$ sobre el área completa de los lentes. Para diseñar unos lentes progresivos, se prescribe el poder medio sobre la superficie completa de los lentes utilizando un sistema preferido de coordenadas. Este sistema preferido consiste de un conjunto continuo de contornos que se interceptan no mutuamente que llenan colectivamente el área completa de los lentes y una senda de conexión, con cada línea de contorno interceptando la senda de conexión una vez. La senda de conexión es una curva que conecta un punto en el área de distancia a uno en el área de lectura. Para especificar el poder medio en este sistema preferido de coordenadas, el diseñador especifica cómo varía el poder medio a lo largo de la senda de conexión y como varía el poder medio a lo largo de cada contorno desde su punto de intersección con la senda de conexión. Preferiblemente, la variación en el poder medio a lo largo de la senda de conexión se debe describir mediante una función adecuadamente suave que varía desde un valor inferior en el área de distancia a un valor mayor en el área de lectura.

40

También se prefiere que la altura de los lentes alrededor del límite se especifique mediante una función que varía poco cerca a las áreas de distancia y lectura y gradualmente cerca a las regiones intermedias que se muestran en la Figura 6. Una manera de construir tal función es como un compuesto paso a paso suave de cualquiera de una amplia variedad de funciones elementales bien conocidas, tales como las funciones polinomial, trigonométrica o gaussiana.

La forma de superficie de los lentes se determina luego sobre la base de la distribución de poder medio y la altura de los lentes en el límite. El método preferido es resolver un problema de valor límite.

El astigmatismo no deseado en las áreas críticas se puede reducir entonces y los diseños de los lentes izquierdo y derecho individuales se pueden crear, como se describe con más detalle adelante.

10 A. Prescribir Poder Medio Sobre la Superficie de los Lentes.

Para unos lentes progresivos de la presente invención, un método preferido para prescribir el poder medio M como una función sobre el área de los lentes completa involucra cuatro etapas. Primero, el diseñador selecciona los puntos, P_D en el área de distancia y P_R en el área de lectura, y una senda que conecta aquellos puntos. En una realización, ambos puntos de la senda de conexión descansan a lo largo del eje de simetría izquierdo - derecho de los lentes. Por lo tanto, en esta realización en la senda de conexión se denomina como el meridiano de perfil de poder. La Figura 3 es una elevación vertical (vista de planta) de unos lentes progresivos que muestran los puntos seleccionados P_D y P_R mostrados en los puntos finales 20 y 22 en cada extremo de la senda de conexión (o en el meridiano de perfil de poder) 24.

Segundo, se selecciona un conjunto continuo de contornos, sujeto a las condiciones de que cada contorno en el conjunto intercepte el meridiano de perfil de poder una vez y no dos contornos en el conjunto se intercepten el uno al otro. Las curvas en la Figura 3 dentro del límite de los lentes 10 son miembros representativos de un ejemplo de tal conjunto continuo de contornos. En una realización preferida, el conjunto de contornos llena colectivamente el disco completo de los lentes. En una segunda realización preferida, el diseñador puede definir un área de distancia 32 y un área de lectura 34 de poder medio constante. El conjunto de contornos colectivamente llena el área de lentes restante. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, las curvas 28 y 30 son contornos que forman los límites de las áreas de poder medio constante. En este ejemplo, el conjunto continuo de contornos consiste de dos familias de hipérbolas:

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

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

Donde las coordenadas x y y se definen de acuerdo al sistema de coordenadas como se muestra en la Figura 5. Como los parámetros ξ_R y ξ_D varían, el conjunto de contornos llena el área completa entre los contornos 28 y 30. Para $y = 0$ las dos familias de hipérbola se traslapan, incluyendo cada una el ecuador 26 del disco como un miembro cuando ξ_D o ξ_R es variado.

El conjunto de líneas de contorno ilustrado en la Figura 3 no es de ninguna manera un ejemplo único de los contornos que pueden cumplir las condiciones dadas anteriormente. Los contornos se pueden seleccionar de familias de curvas diferentes de cónicas, y de familias de cónicas diferentes de las hipérbolas. En la segunda realización preferida el conjunto de contornos podría igualmente consistir bien de dos familias de elipses. En un ejemplo de esta realización, el contorno que forma el límite del área de distancia es preferiblemente una elipse con una proporción de eje mayor a eje menor en el rango de aproximadamente 1,1 a 3,0. También se espera que los contornos se puedan seleccionar de las familias de curvas diferentes de las cónicas.

En una tercera etapa de un método preferido para prescribir el poder medio sobre los lentes, el diseñador prescribe una función que especifica la variación en el poder medio a lo largo del meridiano del perfil de poder. Preferiblemente, la función prescrita tiene en cuenta los criterios de comodidad del portador y el uso pretendido de los lentes. Las funciones que cumplen tales criterios pueden, por ejemplo, ser combinaciones lineales de funciones elementales. Un ejemplo de tal función es:

$$M(y) = M_D + \left[\frac{M_R - M_D}{2} \right] \left[1 - \cos \left(\pi \frac{y_D - y}{y_D - y_R} \right) \right] \text{ donde } M_D \text{ es el poder medio especificado en un punto } P_D = (0, y_D) \text{ en el área de distancia y } M_R \text{ es el poder medio especificado en un punto } P_R = (0, y_R) \text{ en el área de lectura.}$$

La Figura 4 es una gráfica del poder medio M graficado contra el eje y de los lentes a lo largo de la longitud del meridiano de perfil de poder. Los extremos de la gráfica corresponden a los puntos finales 20 y 22 del meridiano del perfil de poder. Una función 36 que especifica el poder medio M a lo largo de meridiano del perfil de poder se

muestra como un ejemplo de una variación adecuada del poder medio. En el ejemplo mostrado, el poder medio es constante en el área de distancia 32 y el área de lectura 34.

Finalmente, en la cuarta etapa de un método preferido para prescribir el poder medio sobre los lentes, el diseñador prescribe funciones que especifican la variación en el poder medio M a lo largo de cada una de las líneas de contorno. El poder medio en el punto donde un contorno intercepta el meridiano de perfil de poder igual al poder medio especificado en ese punto sobre el meridiano de perfil de poder. Así, definiendo la variación en el poder medio M a lo largo que cada una de las líneas de contorno se completa la definición del poder medio sobre la superficie completa de los lentes. Una selección conveniente consistente con el requisito para el poder medio simplemente permanece constante a lo largo de cada contorno. Otras selecciones también son compatibles con la realización descrita.

B. Prescribir la Altura de los Lentes en el Límite de los Lentes.

En una realización preferida, el diseñador también prescribe la altura de los lentes en el borde de los lentes. (Como se utiliza aquí, los términos "borde de los lentes" y "límite de los lentes" son sinónimos). El diseñador especifica la función de altura del límite de los lentes $z(\theta)$ donde z denota la altura de los lentes y θ denota las coordenadas angulares alrededor del límite de los lentes. La Figura 5 ilustra la convención preferida para θ para ser definida como el ángulo alrededor del borde 48 de los lentes en una dirección contraria a las manecillas del reloj que inicia en la intersección de x de los bordes de los lentes.

Preferiblemente, la especificación del diseñador de $z(\theta)$ tiene en cuenta los criterios de comodidad del portador y el uso pretendido de los lentes. Las discontinuidades y cambios abruptos en $z(\theta)$ generalmente conducen a saltos en la imagen que no son cómodos para el portador. También, para ser sostenidos en la estructura de las gafas los lentes no deben ser ni demasiado gruesos ni demasiado delgados alrededor de su borde.

Para unos lentes progresivos, los criterios de diseño adicionales preferiblemente aplican a $z(\theta)$. La Figura 6 una elevación vertical (vista de planta) de la superficie de unos lentes progresivos, ilustra segmentos del límite de los lentes que corresponden aproximadamente a las áreas adjuntas de unos lentes progresivos típicos, ilustrados en la Figura 1. El segmento límite 50 une aproximadamente el área de distancia 40; el segmento límite 52 une aproximadamente el área de lectura 42; y los segmentos límites 54 y 56 unen aproximadamente las regiones subyacentes 44 y 46. Para facilitar los diseños con unas propiedades ópticas relativamente uniformes en las áreas de distancia y de lectura, se prefiere que $z(\theta)$ varíe poco con cada uno de los segmentos 50 y 52. Para facilitar que los diseños no produzcan distorsiones de imágenes incómodas en la periferia de los lentes, se prefiere que los segmentos 54 y 56, $z(\theta)$ varíe gradualmente con el fin de hacer las transiciones sustancialmente suaves entre los segmentos 50 y 52. Con el fin de cumplir estos criterios de diseño el diseñador puede, por ejemplo, construir $z(\theta)$ de una composición paso a paso suave de cualquiera de una amplia variedad de funciones elementales bien conocidas, tales como las funciones polinomiales y trigonométricas.

La Figura 7 ilustra el comportamiento de calidad preferido de la función de altura del límite de los lentes 60, que muestra la altura del límite de los lentes z sobre el eje vertical graficado contra las coordenadas angulares θ sobre el eje horizontal, con θ variando de 0 a 360 grados sobre los segmentos límite de los lentes 50, 52, 54 y 56.

Dentro de estos criterios, permanece alguna flexibilidad en la especificación de $z(\theta)$ para unos lentes progresivos. Después de examinar las propiedades ópticas de unos lentes cuya forma de superficie se ha determinado de acuerdo a la realización presente, un diseñador puede explotar esta flexibilidad al modificar $z(\theta)$. Se ha mostrado que unos lentes progresivos típicos se pueden diseñar y optimizar utilizando los métodos descritos aquí en una hora o menos, con cada cálculo sucesivo de la distribución de altura de los lentes sobre la superficie de los lentes siendo efectuada en cuestión de minutos. Con el beneficio de tal retroalimentación rápida, el diseñador puede modificar $z(\theta)$ de manera que conduzca a propiedades ópticas mejoradas, tal como astigmatismo disminuido en áreas críticas de los lentes.

C. Determinar la Forma de Superficie de los Lentes.

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

$$[\partial_x^2 + \partial_y^2]z = F \quad (3)$$

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

La presente realización determina la forma de la superficie de los lentes al resolver la ecuación (3) sujeta a la condición de que se especifique la altura del borde de los lentes $z(\theta)$. En razón a que la ecuación (3) es una ecuación diferencial parcial del tipo elíptico, una solución única, estable de la forma de superficie de los lentes z

debe existir. Para determinar esa solución, la presente realización utiliza un proceso iterativo para resolver la ecuación (3) numéricamente.

Para establecer una solución de partida, la configuración de los lentes de poder bajo, en los cuales $|\partial_x z| \ll 1$ y $|\partial_y z| \ll 1$ se asumen. Para esta solución de partida, $\partial_x z$ y $\partial_y z$ se puede eliminar de la ecuación (3), conduciendo a una ecuación de Poisson:

$$[\partial_x^2 + \partial_y^2]z = 2 \langle \mu \rangle \quad (4)$$

El área de los lentes se cubre con una malla cuadrada. La curvatura media $\langle \mu \rangle$ se evalúa de M en los puntos de malla; sus valores son proporcionales a la $F^{(0)}$, una función de dos variables discretas. En total, una función con un superíndice en paréntesis será la función de dos variables discretas que representan los valores en los puntos de malla de la función continua correspondiente, $Z^{(0)}$ en los puntos de malla sobre el límite del disco representa los valores de $z(\theta)$ en aquellos puntos. Para los puntos de malla cerca al límite del disco, el valor de $Z^{(0)}$ es un promedio adecuado de los valores cercanos de $z(\theta)$. En cualquier otra parte de la malla $Z^{(0)}$ no necesita ser definido.

Los superíndices en paréntesis se refieren a la etapa de la iteración. En la primera iteración, el análogo discreto de la ecuación (4)

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

Se resuelve para obtener $Z^{(1)}$.

$Z^{(1)}$ se resuelve en los puntos de malla utilizando la Técnica de sobre Relajación Sucesiva (SOR). La Técnica SOR para resolver ecuaciones elípticas se discute en W. H. Press et al., "Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing" (Cambridge University Press 1992) en las secciones 19,2 y 19, 5, que se incorporan aquí mediante referencia.

En iteraciones subsecuentes, la ecuación (6), el análogo discreto de la ecuación (3)

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

se resuelve para obtener $Z^{(n+1)}$. Para $n \geq 1$, $F^{(n)}$ incluye todos los términos mostrados en la ecuación (3). Los valores de $F^{(n)}$ se calculan en los puntos de malla utilizando los valores de $Z^{(n)}$ determinados en los puntos de malla en la iteración previa. Los diferenciales parciales de Z que aparecen en F , como se muestra en la ecuación (3), se calculan utilizando esquemas de diferencia central, teniendo cuidado especial para los puntos de malla cerca al límite circular. De nuevo, se utiliza la técnica SOR para resolver $Z^{(n+1)}$ en los puntos de malla.

La técnica SOR emplea una serie repetitiva de barrido sobre la malla para converger sobre una solución. La proporción de la convergencia es dependiente del valor del Factor de Sobre Relajación (ORF), y un valor preferido del ORF se determina experimentalmente. Una vez determinado, el mismo valor ORF es también preferido para resolver ecuaciones similares, tales como iteraciones sucesivas de la ecuación (6). (Ver Press et al., en la sección 19,5).

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

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

D. Reducir el Astigmatismo no Deseado en la Áreas Críticas.

Utilizando la forma de superficie de los lentes que resulta de la etapa C anterior, la diferencia de curvatura principal (δ) se puede calcular en cada punto de malla. Los diferenciales parciales de Z que aparecen en δ se calculan utilizando esquemas de diferencia central, teniendo especial cuidado para los puntos de malla cercanos al límite circular.

Se puede encontrar astigmatismo excesivo en áreas críticas tales como las áreas central y de lectura. Aunque el astigmatismo no se puede evitar completamente en un diseño de lentes progresivo, el astigmatismo se puede redistribuir más homogéneamente alejado de las áreas críticas.

5 El astigmatismo en el área central, por ejemplo, se puede reducir para mejorar el desempeño óptico allí. Un criterio para el nivel máximo de astigmatismo aceptable en el área central, tal como $D \leq 0,15^* (M_R - M_D)$ se puede imponer. Aquí, M_D es el poder medio especificado en el punto P_D en el área de distancia y M_R es el poder medio especificado en el punto P_R en el área de lectura.

10 Asumiendo que la forma de los lentes es simétrica alrededor de la línea central, de tal manera que $z = f(x, y)$ con $f(-x, y) = f(x, y)$. Entonces 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 $\langle \delta \rangle$ son respectivamente dadas 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 desvanecer el astigmatismo D exactamente a lo largo de la línea central, sería necesario que t fuera igual a $h^2 r$ y la curvatura media $\langle \mu \rangle$ fuera igual a r/h . Por lo tanto la función $\langle \mu \rangle$ tendría que ser modificada de acuerdo a la ecuación (8):

$$15 \quad \langle \mu \rangle(0, y) \rightarrow \langle \mu \rangle(0, y) + \Delta \langle \mu \rangle(0, y) \quad (8)$$

donde

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

Para reducir astigmatismo D en el área central y al mismo tiempo distribuir los cambios en el poder medio a través de los lentes, la función de dispersión $\delta(x)$ se puede emplear:

$$20 \quad \langle \mu \rangle(x, y) \rightarrow \langle \mu \rangle(x, y) + \sigma(x) \Delta \langle \mu \rangle(0, y) \quad (10)$$

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

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

25 Donde x_R y $-x_L$ toman valores iguales antes de manejar y crear una región constante para la función de dispersión $\delta(x)$. El parámetro k controla la tasa de desintegración de $\delta(x)$ a la izquierda y a la derecha de la región constante. La función de curvatura media $\langle \mu \rangle(x, y)$ que resulta de las ecuaciones (8), (9) y (10) se puede calcular en los puntos de malla y se utiliza para recalcular completamente la función de altura de superficie z de la manera descrita en la etapa C.

30 En el recálculo completo de z con un $\delta(x)$ seleccionado, las derivadas involucradas en la ecuación (9) adoptarán en general nuevos valores. Como resultado, la función de curvatura media $\langle \mu \rangle(x, y)$ también adoptará nuevos valores. Las variables z , $\langle \mu \rangle$, y $\langle \delta \rangle$ se recalculan repetidamente, comparada de repetición a discreción del diseñador. Si es necesario los valores de x_L , x_R y k pueden ser cambiados ellos mismos durante este proceso.

35 El astigmatismo se puede reducir de manera similar en cualquier área crítica, primero al determinar el cambio local en M requerido para hacer desvanecer D exactamente en el área, y luego al distribuir el cambio en M a través de los lentes. El resultado es un conjunto de valores modificados de M en los puntos de malla. El M modificado es conectado de regreso en la etapa C en la ecuación (5) para obtener una función de superficie de lentes modificada z en los puntos de malla. La z modificada, a su vez, se utiliza para recalcular el astigmatismo D de los puntos de malla y se puede repetir el proceso completo hasta que la distribución del astigmatismo sea aceptable.

E. Optimizar la Distribución de Poder Medio Alrededor del Meridiano del Perfil de Poder.

Como resultado de cambiar el poder medio para reducir el astigmatismo no deseado, se puede encontrar que el poder medio en ciertas áreas críticas ya no es lo que desea el diseñador. La Figura 9 muestra un ejemplo del perfil de poder medio después de reducir el astigmatismo (línea 72). Para un diseño típico, se deseará mantener el poder medio por debajo de un cierto valor en el punto de ajuste (línea 74). También se deseará que el poder medio alcance el poder de adición correcto, en este ejemplo 2,00 dioptrías, en el punto de medición de adición (línea 76). Para lograr el perfil de poder medio deseado, sin elevar los niveles de astigmatismo significativamente, el poder medio se puede alterar localmente. Esto se muestra en la línea 70 en la Figura 9 y esta alteración se hace sobre algún ancho limitado en la dirección x de, por ejemplo, 12 a 16 mm. La media modificada se puede distribuir a través de los lentes de una manera lineal simple. La nueva distribución M es de regreso conectada en la etapa C en la ecuación (5) para obtener una función de superficies de lentes modificada z en los puntos de malla. La z modificada, a su vez, se utiliza para recalculer el astigmatismo D en los puntos de malla, de tal manera que se puede revisar que esté dentro de límites aceptables. El proceso completo se puede repetir hasta que la distribución de la media y el astigmatismo se encuentre como aceptable.

F. Diseñar Lentes Izquierdo y Derecho.

Una vez que se ha obtenido una forma de lentes aceptable, las versiones de mano derecha y mano izquierda se diseñan con el fin de minimizar el desbalance binocular. Contraria a las aproximaciones previas al problema de manejo el control directo de las mecánicas de manejo recibe en la curvatura media y las prescripciones de altura de borde. Contrario a las aproximaciones previas al problema manual, el control directo de la mecánica manual reside en la curvatura media y las prescripciones de altura de borde. Con el fin de lograr estos lentes manuales se diseñan a rotar tanto la curvatura media $\langle \mu \rangle(x,y)$ como la altura límite $z(\theta)$ de una manera dependiente del ángulo. Específicamente,

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

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

Donde (ρ, θ) son coordenadas polares que corresponden a (x,y) . La función manual H es de la forma:

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

Donde h_0 es el ángulo manual, ω controla la porción no distorsionada de la región de lectura manual, y K determina la naturaleza de las regiones adelante y detrás de la rotación pura. Los valores típicos de estos parámetros podrían ser $h_0 = 9$ grados, $\omega = 30$ grados, y $K = 1,5$. Las curvaturas medias y los valores de altura de borde son agregados en la etapa C en la ecuación (5) para obtener una función de superficies de lentes recalculada $z(x, y)$ en los puntos de malla.

La Figura 8 es una representación tridimensional de la distribución de curvatura media teórica sobre la superficie de unos lentes de acuerdo a una realización de la presente invención. La curvatura media M se gráfica en la dirección vertical. M se gráfica como una función de x y y , que se muestran como las dos direcciones horizontales. El disco de los lentes se visualiza desde un ángulo menor de 90 grados por encima del plano de los lentes. En razón a que el área de distancia muestra en el primer plano el área de lectura en el trasfondo de la Figura 8, y se incrementa en la dirección del trasfondo al primer plano. Como se puede ver, existe una región de menor curvatura media 62 en el área de distancia y curvatura media mayor 64 en el área de lectura. El poder medio hace una transición suave y se incrementa sustancialmente de manera monolítica al incrementar y a través del área crítica del área ópticamente crítica entre el área de distancia y el área de lectura así como también las áreas subyacentes 66 y 68.

G. Un Diseño de Lentes de Ejemplo.

El siguiente es un ejemplo de un diseño de lentes producido utilizando los métodos que comprenden la presente invención. Una distribución de poder medio se define inicialmente para la superficie completa de los lentes. Una

distribución adecuada utilizando una familia de elipses de poder iso-medio se puede ver en la Figura 10, en la cual las líneas de contorno se muestran teniendo valores de poder medio entre 0,25 y 2,0 dioptrías en incrementos de 0,25 dioptrías. Para definir completamente la superficie completa también es necesario especificar la altura de los lentes alrededor del borde de los lentes. Un ejemplo de una de una función de altura de borde de lentes adecuada se muestra en la Figura 11. Esta figura muestra la altura de superficie de los lentes z en milímetros referenciada del borde del área de distancia. Estos parámetros se utilizan como entradas para la ecuación (10), discutida anteriormente en la etapa C, y las ecuaciones se resuelven para las alturas de superficie z sobre la superficie completa. La solución se deriva numéricamente utilizando un ordenador digital de alta velocidad, utilizando software y técnicas de programación bien conocidas en el arte. Una máquina adecuada sería un ordenador personal con Pentium III o un procesador posterior, tal como el Compaq EVO D300. El tiempo de cómputo requerido para resolver el problema de valor límite es aproximadamente proporcional a la raíz cuadrada del número de puntos en la cual se calcula la altura.

De los valores de altura z resultantes. La distribución del astigmatismo y el poder de la esfera se puede calcular para el diseño. Aunque la distribución del poder de la esfera puede en principio ser calculada directamente de la distribución de poder medio definida y de la distribución calculada del astigmatismo, calcular la distribución del poder de la esfera de los valores de altura z resultantes es útil para confirmar que aquellos valores de altura z son consistentes con la distribución de poder medio definida. La Figura 12 muestra la distribución del astigmatismo que resulta de la distribución del poder medio y la función de altura del borde de los lentes de la Figura 10 y la Figura 11.

La siguiente etapa es reducir el astigmatismo en el área del corredor central a un nivel aceptable. Esta reducción se logra mediante la alteración en la distribución del poder medio de acuerdo con las ecuaciones (8), (9) y (10) descritas anteriormente. En la distribución del poder medio alterado resultante se muestra en la Figura 13. Para tener en cuenta los criterios de comodidad del paciente como es preferido, la función de altura del borde de los lentes también se puede alterar, y un ejemplo de una función de altura de borde de los lentes alterada se muestra en la Figura 14. La función de poder medio alterado de altura de borde se utilizan entonces para recalculando la distribución de las alturas de superficie z sobre la superficie completa al resolver la ecuación (5) como anteriormente. Una distribución del astigmatismo derivada de la distribución de altura de la superficie recalculada se muestra en la Figura 15. Esta etapa se puede repetir hasta que el diseñador encuentre la distribución de astigmatismo aceptable.

Un ejemplo de los cambios originados en el perfil de poder medio a lo largo de la línea central para reducir el astigmatismo en el área del corredor central se muestra en la Figura 17. Habiendo encontrado que el astigmatismo en el área del corredor central se ha reducido a niveles aceptables, el diseñador puede encontrar que el perfil de poder medio a lo largo de la línea central ya no cumple con lo que se deseó originalmente. Como se muestra en la Figura 17 por ejemplo, en el área de adición, el poder medio en el punto de medición de adición (-13 mm) está por debajo de las 2,00 dioptrías deseadas. Entonces el perfil de poder medio se debe optimizar de acuerdo a la etapa E anterior. El perfil de poder medio optimizado sobre un ancho de 12 mm que rodea la línea central de los lentes es entonces utilizada como entrada para recalculando la distribución de las alturas de superficie z al resolver de nuevo la ecuación (5). Una distribución de poder medio que incorpora los cambios mostrados en la Figura 17, se muestra en la Figura 16. El poder medio alterado y la función de los perfiles de altura de borde previo se utilizan entonces para recalculando la distribución de las alturas de superficie z sobre la superficie completa al resolver la ecuación (5) como anteriormente y la distribución del astigmatismo derivada de la distribución de altura de superficie recalculada se muestra en la Figura 18.

Finalmente el diseño tiene que ser manipulado para uso en el ojo izquierdo o derecho de un marco de gafas. Esto se logra al rotar tanto la distribución de poder medio como la función de altura de borde de los lentes como se describió en la etapa F anterior y una vez de nuevo recalculando la distribución de las alturas de superficie z al resolver la ecuación (5) descrita anteriormente. Un ejemplo de la distribución de poder medio rotada se muestra en la Figura 19 y un ejemplo de una función de altura de borde rotada se muestra en la Figura 20. Después de recalculando las alturas de superficie z , la distribución del astigmatismo es de nuevo derivada. Un ejemplo de tal distribución de astigmatismo se puede ver en la Figura 21.

Como se puede ver en la Figura 19, el diseño de lentes completo incluye un área de distancia con un poder medio relativamente inferior en la parte superior de los lentes y un área de lectura con un poder medio relativamente mayor en la parte inferior de los lentes. En toda el área central que se extiende entre las áreas de distancia y de lectura, el poder medio se incrementa suavemente y sustancialmente de manera monotónica en la dirección del área de distancia al área de lectura. En una realización preferida esta área central es de al menos 30 milímetros de ancho, pero puede variar aproximadamente este ancho de acuerdo con el diseño de los lentes. En algunos diseños el ancho mínimo de la porción central puede ser de aproximadamente 20 milímetros de ancho, o puede ser de aproximadamente 10 milímetros de ancho.

La distribución resultante de las alturas de superficie z se pueden utilizar entonces en cualquiera de las siguientes maneras:

1. Para maquinar directamente la superficie progresiva sobre unos lentes de plástico o vidrio;

2. Para maquinar directamente un molde de vidrio o metal que se utilizará para producir lentes de plástico progresivos mediante fundido o moldeo; o

3. Maquinar un formador de cerámica n una forma convexa que se utilizará para producir unos lentes progresivos de vidrio mediante un proceso de expansión, a una forma cóncava que se utilizará para producir molde de vidrio mediante un proceso de expansión del cual se pueden fundir unos lentes progresivos plásticos.

Como se discutió anteriormente, el cálculo de las alturas de superficie z se efectúa preferiblemente en un ordenador. Los datos resultantes que representan la distribución de las alturas de superficie se almacenan preferiblemente en la memoria del ordenador y se pueden guardar en la unidad de disco duro, CD-ROM cinta magnética, u otro medio de registro adecuado.

El maquinado se efectúa preferiblemente al transmitir electrónicamente los datos de altura de superficie a una máquina de fresado o pulido controlada numéricamente mediante el ordenador (CNC. Los ejemplos de máquinas CNC adecuadas incluyen una HSC 100 CNC Schneider para maquinar directamente la superficie progresiva sobre lentes de plástico o vidrio, un Mikron VCP 600 para maquinar un molde de vidrio o metal, un Mikron WF 32C o Schneider HSG 100 CNC para maquinar un formador de cerámica, aunque otras máquinas adecuadas son bien conocidas por aquellos expertos en la técnica.

En cada uno de los anteriores casos la distribución de las alturas de superficie z debe ser procesada para adecuar el controlador CNC particular en la máquina de fresado/pulido utilizada. La compensación también se debe construir en la geometría de superficie dependiendo del tamaño y tipo de la herramienta de fresado/cortador utilizado para asegurar que se produce la superficie de diseño. En el caso de maquinar formadores de cerámica para uso en un proceso de expansión, se debe construir una compensación adicional en la distribución de las alturas de superficie z para tener cuidado de los cambios de geometría no deseados. Estos resultan de doblar y hacer fluir el vidrio en la medida en que este es calentado hasta su temperatura de suavizamiento, para permitirle tomar la forma del formador de cerámica.

Los lentes producidos de acuerdo con la presente invención no requieren tener un perfil circular. Como parte de cualquiera de los procedimientos de elaboración anterior, los lentes se pueden glasear en una variedad de perfiles para una variedad de marcos de gafas. Adicionalmente, la altura del borde de los lentes utilizada en el cálculo de las alturas de superficie de los lentes z no necesita ser el borde físico del blanco de los lentes. Por ejemplo, unos lentes circulares típicos de 70 milímetros pueden tener alturas de borde definidas de 10 milímetros desde el borde del blanco de los lentes, dependiendo del tamaño de los lentes finalmente requerido. En este ejemplo, la especificación del diseñador del poder medio del cálculo de las alturas de superficie de los lentes z aplicará para área de los lentes dentro del límite en el cual se define la altura del borde de los lentes, en lugar de la superficie completa del blanco de los lentes.

Un diagrama de flujo que muestra el proceso descrito anteriormente se suministra en la Figura 22. El diagrama de flujo ilustra cada una de las etapas principales involucradas en el proceso de diseño y elaboración para unos lentes progresivos como se describió anteriormente. Se debe notar que la Figura 22 describe solamente un ejemplo de un proceso de diseño y elaboración y no todas las etapas mostradas en el diagrama de flujo pueden ser necesarias para un diseño de lentes dado.

Así se ha descrito un método mejorado para diseñar el poder de adición progresivo de los lentes oftálmicos. Se apreciará que el método se ha descrito en términos de varias realizaciones, que son susceptibles de varias modificaciones y formas alternativas. De acuerdo con esto, aunque se han descrito realizaciones específicas, estos son solamente ejemplos y no limitan el alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método para diseñar una superficie de lentes progresivos que comprende:

especificar el poder medio de una pluralidad de puntos distribuidas sobre la superficie completa de los lentes;

especificar la altura de los lentes alrededor del borde de los lentes, y

5 determinar la altura de los lentes en la pluralidad de puntos consistente con el poder medio especificado y la altura del borde de los lentes, que comprende encontrar una solución única de una ecuación diferencial parcial del tipo elíptica sometida a la condición límite de la altura de borde de los lentes.

10 2. El método de la reivindicación 1, en donde encontrar la solución única de la ecuación diferencial parcial comprende: emplear una técnica de sobre relajación sucesiva para converger sobre la solución; y determinar un factor de sobre relajación para relajar más eficientemente la ecuación.

3. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en donde la etapa de determinar la altura de los lentes en una pluralidad de puntos comprende:

15 definir una malla que comprende una pluralidad de puntos sobre la superficie de los lentes; determinar el poder medio en cada punto sobre la malla definida mediante la distribución de poder medio específica sobre la superficie de los lentes; y resolver numéricamente sobre la malla una ecuación diferencial parcial del tipo elíptica, sujeta a la altura del borde de los lentes como una condición límite, para determinar la altura de los lentes en cada punto de la malla.

20 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde los lentes comprenden un área de distancia y un área de lectura, y en donde la etapa de especificar el poder medio comprende además: especificar el poder medio a lo largo de una senda de conexión que se extiende desde un primer punto en el área de distancia a un segundo punto en el área de lectura; y especificar el poder medio sobre un sistema de coordenadas distribuida ampliamente sobre el área completa de los lentes consistentemente con el poder medio especificado a lo largo de la senda de conexión.

25 5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde los lentes comprenden un área de distancia y un área de lectura, y en donde la etapa de especificar el poder medio comprende además: especificar el poder medio en el área de distancia y en el área de lectura; especificar el poder medio a lo largo de una senda de conexión que se extiende desde un primer punto en el área de distancia a un segundo punto en el área de lectura; y especificar el poder medio sobre el sistema de coordenadas distribuido ampliamente sobre el área restante de los lentes consistentemente con el poder medio especificado a lo largo de la senda de conexión.

30 6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 4-5, en donde el sistema de coordenadas comprende un conjunto continuo de líneas de contorno, cada línea de contorno intercepta la senda de conexión una vez y no dos contornos en el conjunto que se interceptan el uno con el otro, y en donde especificar el poder medio sobre el sistema de coordenadas comprende además especificar la variación de poder medio a lo largo de las líneas de contorno como una función, el poder medio sobre una línea de contorno y el poder medio sobre la senda de conexión que es igual en cada punto donde la línea de contorno intercepta la senda de conexión.

35 7. El método de la reivindicación 6, en donde cada línea de contorno intercepta la senda de conexión solamente una vez y cada línea de contorno no intercepta ninguna otra línea de contorno.

8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 6-7, en donde el poder medio es constante a lo largo de la longitud de cada línea de contorno.

40 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 6-7, en donde el poder medio varía a lo largo de la longitud de cada línea de contorno.

45 10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 4-9, en donde especificar la altura de los lentes alrededor del borde de los lentes comprende definir una función de perfil de altura límite en la cual la altura límite varía solamente de manera ligera en un primer segmento límite adyacente al área de distancia y un segundo segmento límite adyacente al área de lectura, y la altura límite sufre sustancialmente transiciones suaves entre el primer y segundo segmento límite.

11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 4-10, que comprende además redistribuir el astigmatismo alejado de la senda de conexión.

- 5 12. El método de la reivindicación 11, en donde la etapa de redistribuir el astigmatismo comprende: determinar un cambio en el poder medio requerido para reducir el astigmatismo sobre la senda de conexión; distribuir el cambio en el poder medio a través de los lentes para modificar los valores de poder medio especificados; y determinar la altura de los lentes en los puntos de la pluralidad de puntos distribuida sobre la superficie de los lentes utilizando los valores de poder medio modificados en los puntos.
13. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además rotar de manera controlada los valores de poder medio especificados con respecto a la pluralidad de puntos distribuida sobre la superficie de los lentes y la altura del borde de los lentes especificados con respecto al borde de los lentes.
- 10 14. El método de la reivindicación 13, en donde la rotación se controla mediante una función de manejo dependiente del ángulo $H(\theta)$ de tal manera que $M(\rho, \theta) \rightarrow M(\rho, H(\theta))$ y $z(\theta) \rightarrow z(H(\theta))$ donde M es el poder medio, $z(\theta)$ es la altura del borde de los lentes, y (ρ, θ) son las coordenadas polares sobre el área de los lentes.
15. Un sistema para diseñar lentes progresivos que comprenden:
- Un procesador para aceptar entradas que definen la variación de poder medio sobre un sistema de coordenadas que cubre la superficie de los lentes y definen la altura de los lentes alrededor del borde de los lentes y para calcular la altura de los lentes en una pluralidad de puntos sobre la superficie de los lentes al resolver una ecuación diferencial parcial elíptica sujeta a la altura de los lentes en el borde de los lentes como una condición límite; y una memoria para almacenar los valores de altura de los lentes calculados.
- 15 16. Un sistema para diseñar lentes progresivos que comprende un procesador para calcular la altura de los lentes en una pluralidad de puntos sobre la superficie de los lentes de acuerdo al método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-14.
- 20 17. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 15 y 16, que comprende además una máquina de pulido controlada numéricamente para aceptar los valores de altura de los lentes calculados y utilizar los valores de altura de los lentes calculados para maquinarse los lentes o un molde para producir los lentes o un formador para producir los lentes.
- 25 18. El sistema de la reivindicación 17, en donde la máquina de pulido controlada numéricamente ajusta los valores de altura de los lentes calculados de acuerdo con el tipo de herramienta de maquinado ajustada a la máquina de pulido.

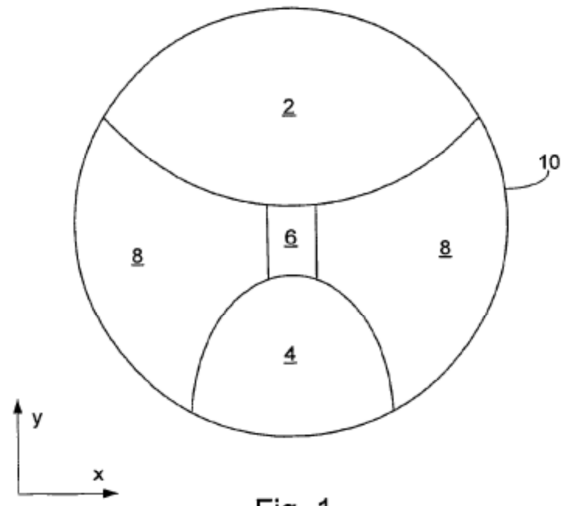


Fig. 1

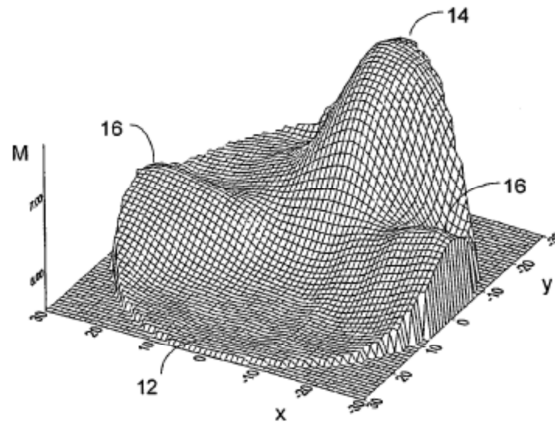


Fig. 2

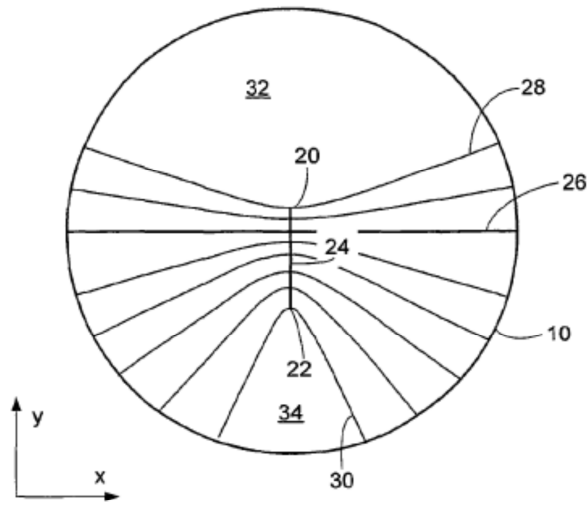


Fig. 3

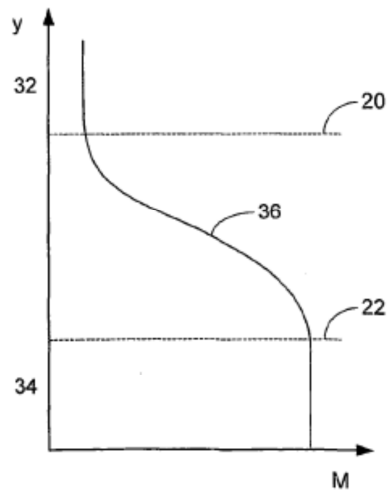


Fig. 4

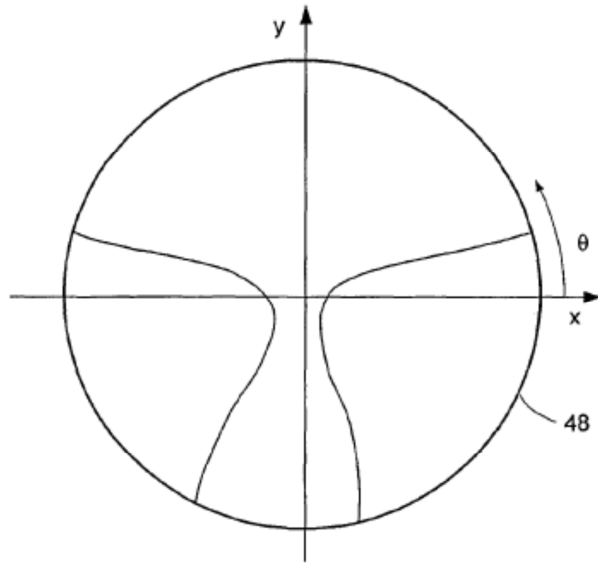


Fig. 5

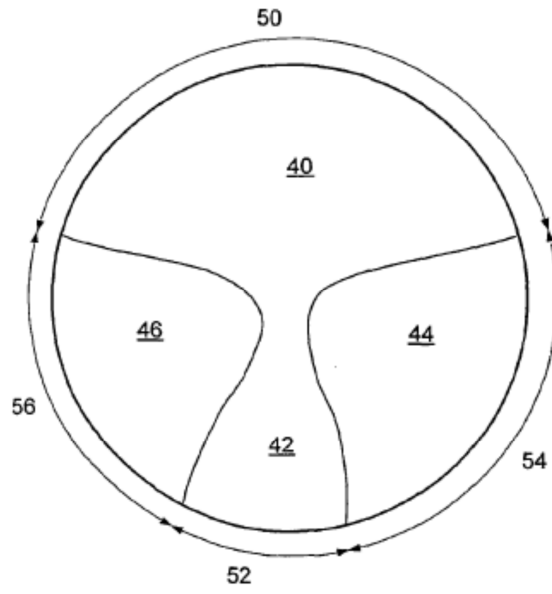


Fig. 6

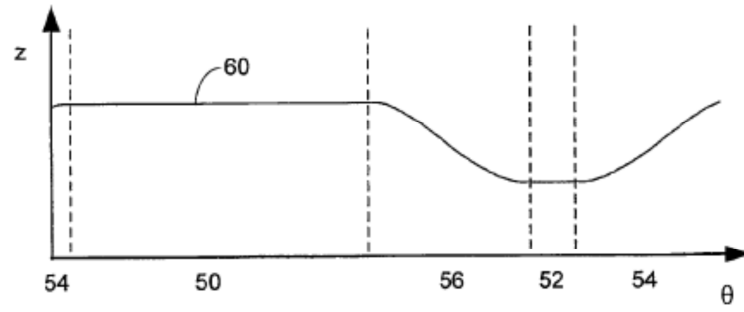


Fig. 7

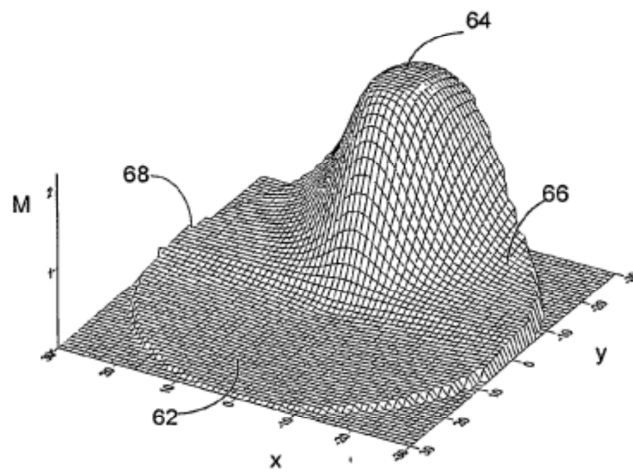


Fig. 8

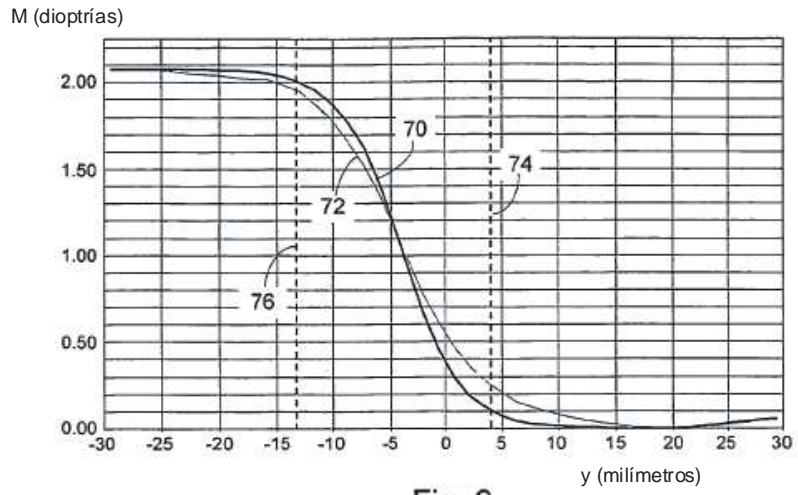


Fig. 9

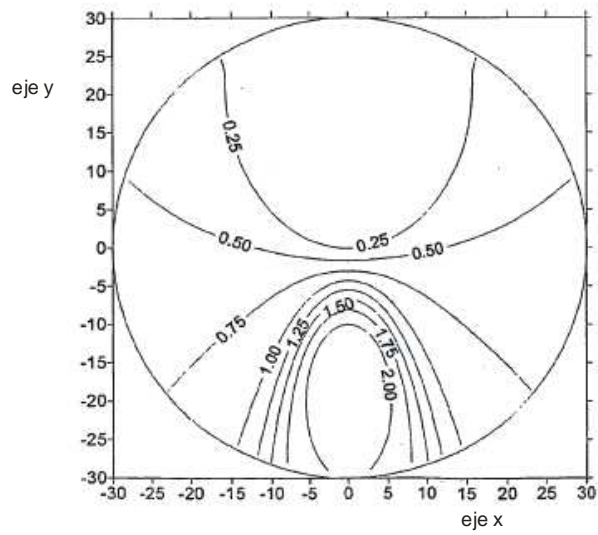


Fig. 10

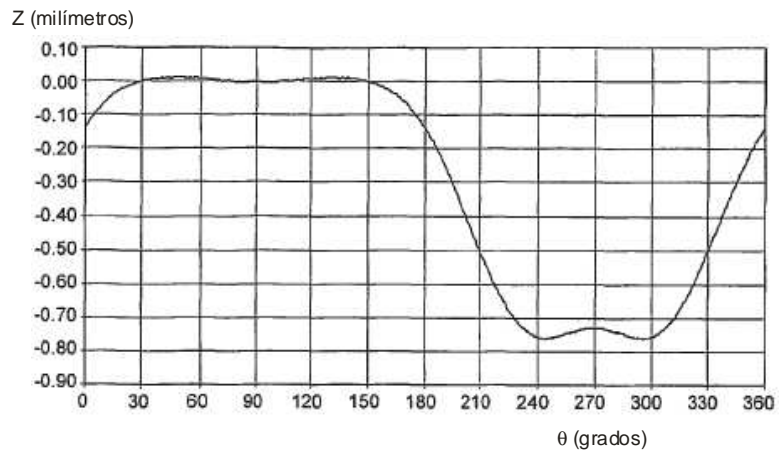


Fig. 11

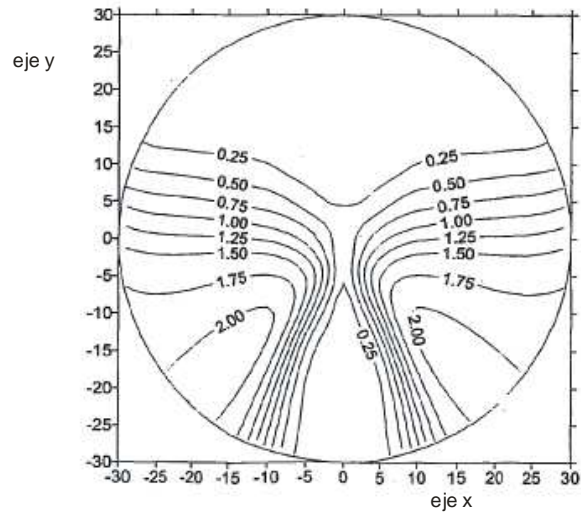


Fig. 12

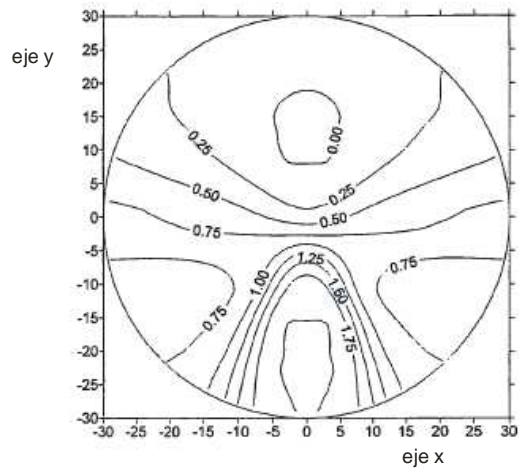


Fig. 13

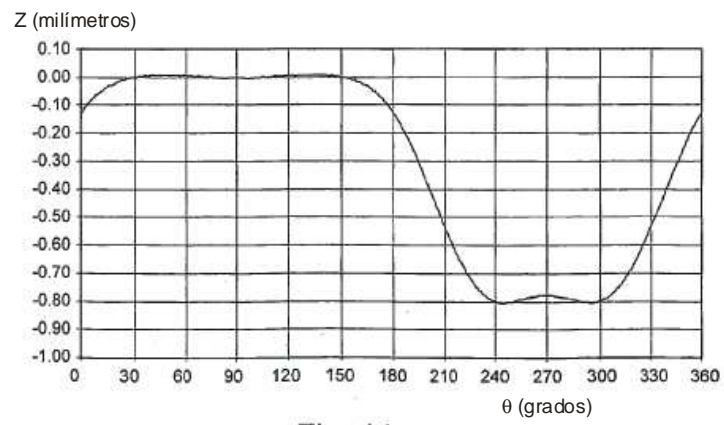


Fig. 14

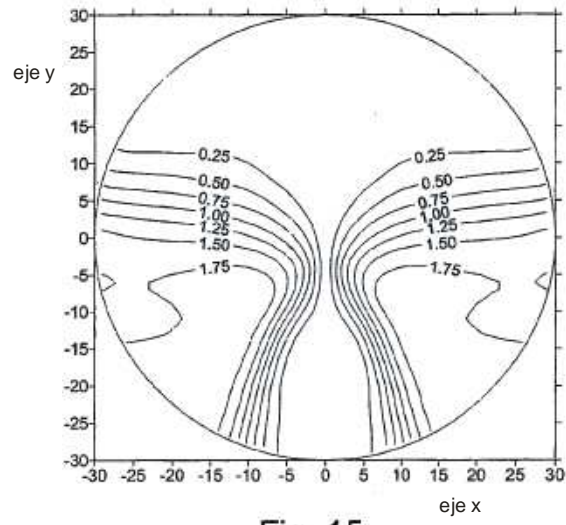


Fig. 15

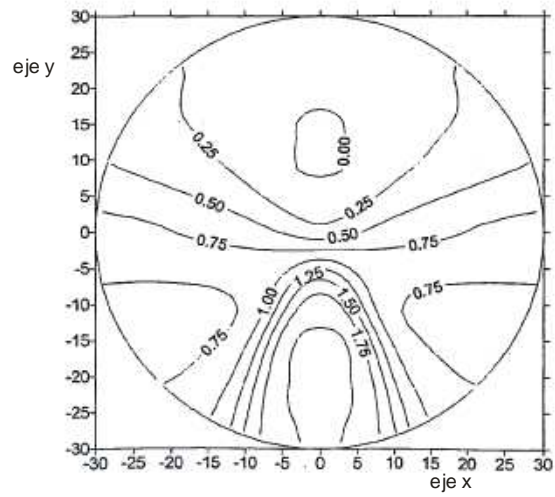


Fig. 16

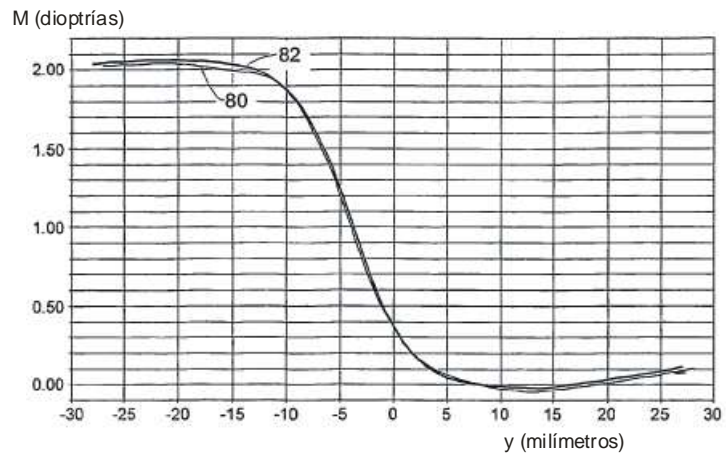


Fig. 17

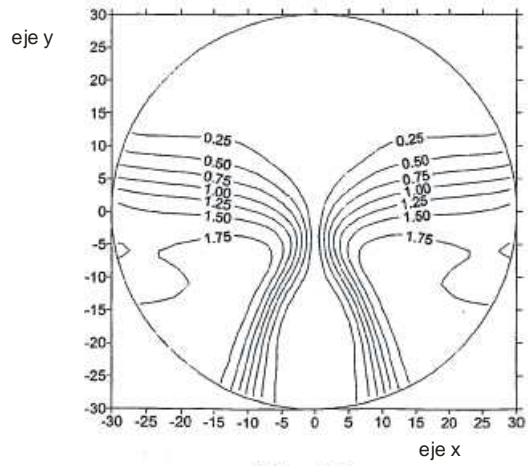


Fig. 18

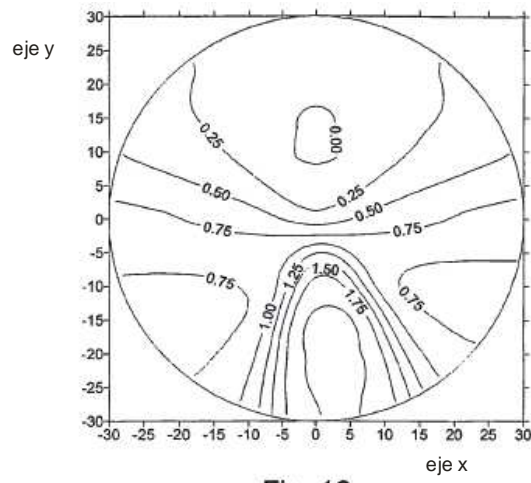


Fig. 19

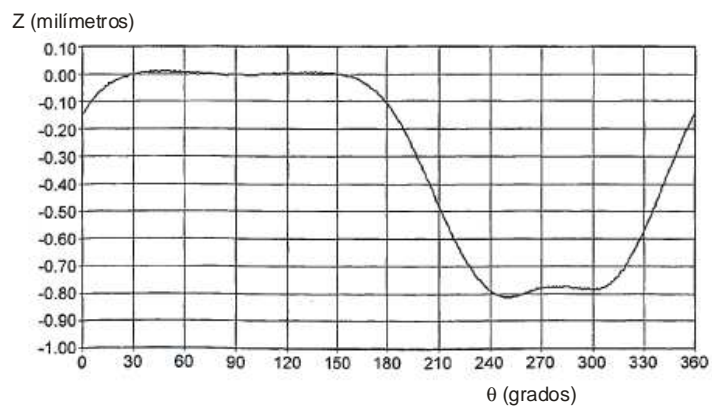


Fig. 20

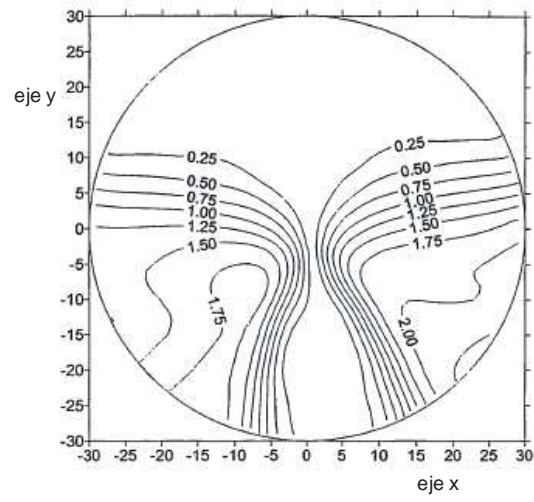
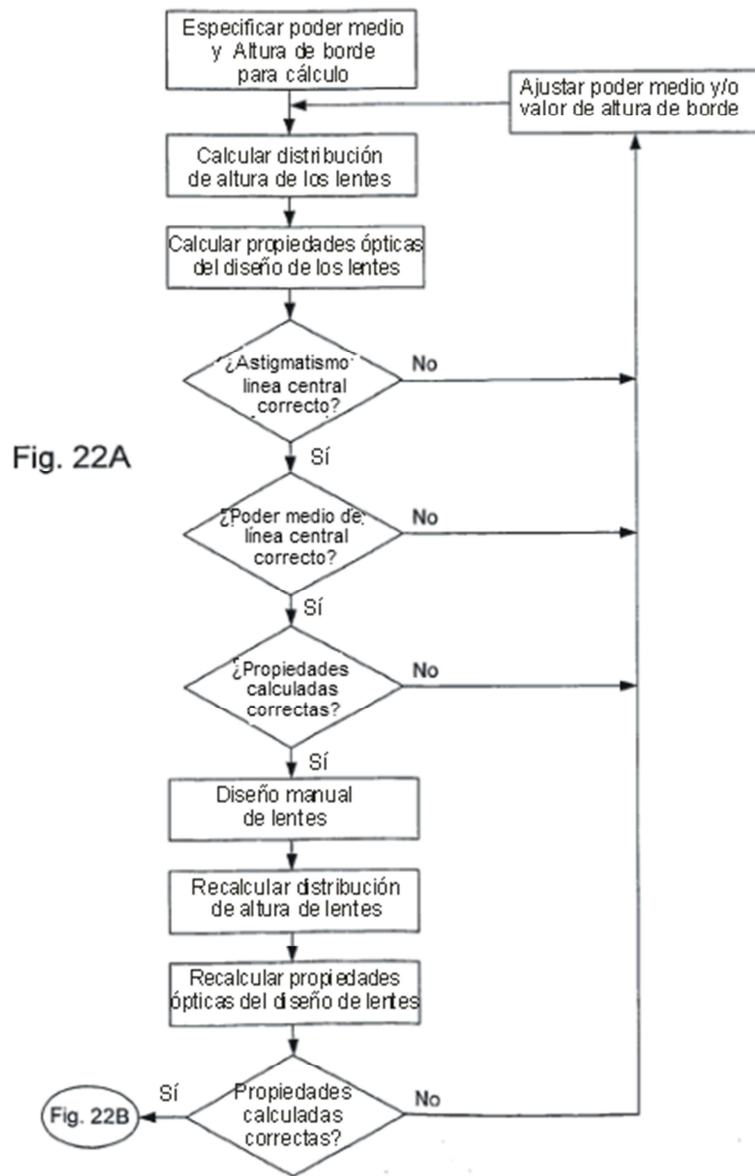


Fig. 21



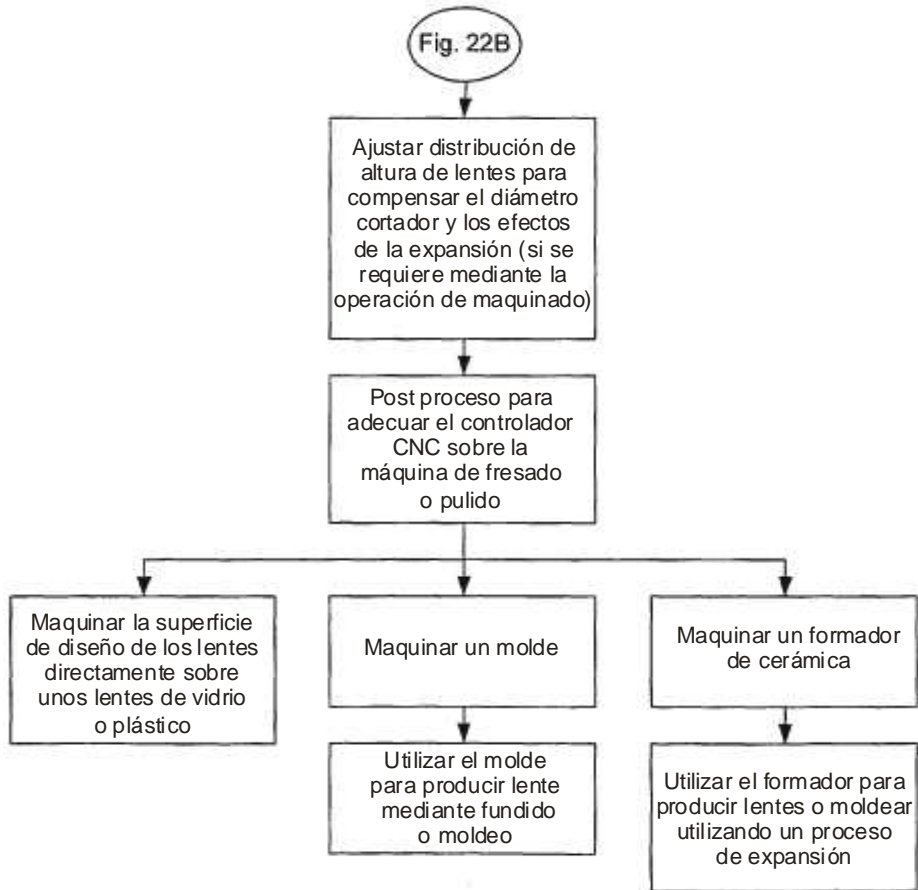


Fig. 22B