(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 380 979**

(21) Número de solicitud: 201132048

(51) Int. CI.:

G02C 7/02 (2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN B1

(22) Fecha de presentación:

19.12.2011

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

22.05.2012

Fecha de la concesión:

18.01.2013

(45) Fecha de publicación de la concesión:

30.01.2013

(73) Titular/es:

INDO INTERNACIONAL S.A. (100.0%)
Alcalde Barnils 72, Pol. Ind. Sant Joan
08174 SANT CUGAT DEL VALLÈS (Barcelona) ES

(72) Inventor/es:

DÜRSTELER LÓPEZ, Juan Carlos;
VEGAS CABALLERO, Javier;
ESPÍNOLA ESTEPA, Manuel;
CHAMADOIRA HERMIDA, Sara y
CASANELLAS PEÑALVER, Glòria

(74) Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

(54) Título: **Procedimiento de diseño y de fabricación de una lente oftálmica monofocal y lente correspondiente**

(57) Resumen:

Procedimiento de diseño y de fabricación de una lente oftálmica monofocal y lente correspondiente. Procedimiento de diseño de una superficie de una lente oftálmica monofocal, en el que la superficie está definida por una función analítica del tipo:

$$f(x,y) = a_1 + a_2\sqrt{1 - a_3x^2 - a_4y^2} + a_5 \exp\{a_6x^4 + a_7y^4 + a_8x^2y^2\}$$

donde a_5 es diferente de 0 y por lo menos uno de los coeficientes a_6, a_7 y a_8 es diferente de 0, de manera que incluye una componente hiperbólica y una componente exponencial. Los coeficientes se pueden calcular mediante un cálculo iterativo y una función de mérito del tipo:

$$fm = \left[\sum_i \alpha_i m_i^2(\beta)\right]^{1/2}$$

donde m_i es el valor de dicha propiedad óptica a un ángulo de visión ß determinado respecto del eje óptico de la lente, y α_i es un valor de ponderación. Las propiedades ópticas se puedes calcular empleando, por ejemplo, trazado de rayos.

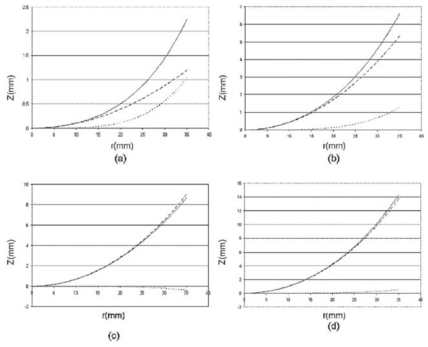


Fig. 1

ES 2 380 979 B1

DESCRIPCION

Procedimiento de diseño y de fabricación de una lente oftálmica monofocal y lente correspondiente

El trabajo que ha dado lugar a este invento ha recibido financiación del Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea [PM7/2007-2013] en virtud del acuerdo de subvención nº CT-212002.

Campo de la invención

La invención se refiere a lentes monofocales, mas comúnmente conocidas como lentes esferocilíndricas (o esferotóricas). Estas lentes se corresponden con elementos ópticos de potencia constante en toda la superficie que se representan generalmente en óptica oftálmica mediante los valores de esfera, cilindro y eje del cilindro. Concretamente, la invención se refiere a unos procedimientos de diseño y de fabricación de una lente oftálmica monofocal. La invención también se refiere a unas lentes oftálmicas monofocales definidas analíticamente mediante una función determinada.

Estado de la técnica

Con el fin de aportar valor añadido a este tipo de lentes se han ido desarrollando diferentes diseños a lo largo de los años. Estos diseños pretenden corregir las aberraciones, percibidas por el usuario, debidas, entre otras cosas, al hecho de colocar la lente en una determinada posición e inclinación respecto al ojo. Para ello los diseños de monofocales que intentan corregir esas posibles aberraciones introducen variaciones en la geometría de la superficie esferotórica con el fin de disminuir dichas aberraciones de la lente o equivalentemente incrementar el confort del usuario. Estas modificaciones pueden ser por ejemplo la introducción de superficies asféricas, asferotóricas o atóricas para la disminución del astigmatismo oblicuo; o la inclusión de una pequeña adición en la lente para mejorar el confort en visión cercana.

La bibliografía muestra diversas posibilidades a la hora de diseñar las nuevas superficies siendo las más comunes las generadas por curvas cónicas:

$$c(y^2 + (1 + Q)x^2) - 2x = 0$$

siendo c la curvatura de la superficie en el origen y Q la asfericidad. En función del valor de Q podremos generar superficies hiperbólicas (Q<-1), parabólicas (Q=-1), esféricas (Q=0) y en forma de elipsoides (-1<Q<0 ó Q>0). Con dichas curvas cónicas es posible disminuir diferentes tipos de aberraciones (astigmatismo oblicuo, curvatura de campo, distorsión, magnificación, etc.) que se generan debido a la posición de la lente respecto al ojo.

Estudios previos han dado como límite del desplazamiento de la línea de mirada respecto a la posición neutra (correspondiente a 0°), un ángulo α de 30°. A partir del cual el usuario acompaña con movimientos de cabeza el giro que desea realizar. Por lo que, en general, se usan las curvas cónicas para minimizar el peso de las aberraciones teniendo en cuenta un cono de visión que forma la dirección de mirada del usuario a 30°, ya que también es conocido el hecho de que si se corrige a 30°, todos los ángulos inferiores a él tienen un nivel de aberraciones sensiblemente bajo. Aun así, estas optimizaciones suelen estar limitadas a ciertos rangos de prescripción o de curvas base o al tallado de una de las dos caras de la lente.

En los documentos US 3.960.442, US 5.083.859, US 5.825.454, US 2006/0132708 y ES 2.337.970 se describen diversos ejemplos.

Sumario de la invención

La invención tiene por objeto superar estos inconvenientes. Esta finalidad se consigue mediante un procedimiento de diseño del tipo indicado al principio caracterizado porque la superficie está definida por una función analítica del tipo:

$$f(x,y) = a_1 + a_2\sqrt{1 - a_3x^2 - a_4y^2} + a_5\exp\left\{a_6x^4 + a_7y^4 + a_8x^2y^2\right\}$$

donde a_5 es diferente de 0 y por lo menos uno de los coeficientes a_6, a_7 y a_8 es diferente de 0.

Efectivamente, como puede observarse esta función analítica comprende una parte hiperbólica y una parte exponencial. Son conocidas las lentes definidas mediante funciones analíticas hiperbólicas, pero lo que es novedoso es el hecho de añadirle la componente exponencial. Esta componente exponencial permite corregir errores que no es posible corregir por otros medios. Concretamente, el término hiperbólico suele ser dominante en la zona central de la lente mientras que el término exponencial influye principalmente en la parte más periférica. Además, la componente exponencial puede ejercer su influencia de formas muy diversas en función de los valores de los coeficientes a_5, a_6, a_7 y a_8. Como se verá a continuación, esta función analítica permite obtener unos resultados muy superiores respecto de los conocidos en el estado de la técnica.

En una forma preferente de realización de la invención, los coeficientes se calculan mediante un cálculo iterativo que comprende las siguientes etapas:

[a] fijar un valor para el índice de refracción de la lente oftálmica y para la curva base que se empleará para fabricar la lente oftálmica,

[b] fijar unos valores de esfera, cilindro y eje del cilindro que deberá cumplir la lente oftálmica,

[c] fijar unos valores nominales iniciales para los coeficientes $a_1 – a_8$,

[d] calcular, preferentemente por trazado de rayos, por lo menos una propiedad óptica de una lente con estos valores nominales,

[e] calcular el valor de una función de mérito del tipo:

$$fm = \left[\sum_i \alpha_i m_i^2(\beta) \right]^{1/2}$$

donde m_i es el valor de la propiedad óptica a un ángulo de visión β determinado respecto del eje óptico de la lente, y α_i es un valor de ponderación,

[f] optimizar la función de mérito mediante la fijación de nuevos valores nominales para los coeficientes $a_1 – a_8$ y

[g] repetición de los pasos [c] a [f] hasta la obtención del nivel de optimización deseado.

Efectivamente, de esta manera se pueden obtener los valores de los coeficientes a_i para cualquier lente y con la precisión que se desee. Además se puede escoger aquella propiedad óptica o combinación de propiedades ópticas que se considere más relevante en cada caso.

Preferentemente la función de mérito incluye el valor del astigmatismo oblicuo a 30º y, ventajosamente, el valor α_i para el valor del astigmatismo oblicuo está comprendido entre 0,8 y 0,98.

Preferentemente la función de mérito incluye el valor de la curvatura de campo a 30º y, ventajosamente, el valor α_i para el valor de la curvatura de campo está comprendido entre 0,02 y 0,2.

Es particularmente ventajoso que la función de mérito incluya las dos propiedades ópticas anteriores (el astigmatismo oblicuo y la curvatura de campo). Efectivamente, las restantes aberraciones usualmente presentes en las lentes son, en general, una composición de estas dos. Por lo tanto la función de mérito ya está reflejando, de una forma directa o indirecta cualquier aberración de interés.

En general la superficie diseñada mediante el procedimiento de acuerdo con la invención podría ser tanto la superficie cóncava como la convexa, pero es preferible que se trate de la superficie cóncava de la lente. En este caso, los coeficientes a_i pueden simplificarse, concretamente se puede hacer a_1 igual a 0, a_2 igual al radio de curvatura en el centro de la superficie, con signo negativo, y a_5 igual al radio de curvatura en el centro de la superficie. Efectivamente, con estas condiciones se asegura que, por un lado, la función pase por el punto (0, 0, 0) y, por otro lado, que la lente tenga la potencia deseada.

Preferentemente cada uno de los coeficientes de la función analítica tiene un valor que está comprendido entre +/- 30% del valor nominal correspondiente obtenido a partir de la optimización. Efectivamente, el procedimiento de acuerdo con la invención permite calcular los coeficientes a_i con una gran precisión, sin embargo, pequeñas desviaciones respecto de los valores óptimos dan resultados prácticamente igual de satisfactorios. Esto se ha demostrado a través de un análisis de sensibilidad, en el que se han introducido unas variaciones en los coeficientes obtenidos (<30%) y se han analizado tanto las diferencias en altura (z) de las nuevas superficies respecto a las originales como las isolineas de potencia media y de astigmatismo obtenidas mediante trazado de rayos. Se han estudiado distintas combinaciones de variaciones de los coeficientes, a las cuales se les ha aplicado tanto una reducción como un aumento de los coeficientes respecto a los valores exactos (los obtenidos a partir del proceso iterativo). Los casos que han sido estudiados son: reducción o aumento de los coeficientes de la hipérbola (a_3, a_4), reducción o aumento de los coeficientes de la exponencial (a_6, a_7, a_8), reducción o aumento de los coeficientes pares (a_4, a_6, a_8), reducción o aumento de los coeficientes impares (a_3, a_7), y reducción o aumento de todos los coeficientes (a_3, a_4, a_6, a_7, a_8). Este análisis de sensibilidad se ha hecho fijando los valores de los coeficientes a_1, a_2 y a_5, fijando así el centro de la superficie y la curvatura en el centro de la superficie, tal como se ha comentado anteriormente. Para ello se han escogido distintas graduaciones. Tras el análisis de los distintos casos se concluye que una variación suave (<30%) sobre los coeficientes de la hipérbola genera variaciones significativas respecto a la graduación de la lente, por tanto, son muy sensibles a pequeños cambios de dichos coeficientes. En cambio, variaciones suaves sobre los coeficientes que acompañan a la exponencial no aportan variaciones significativas sobre las superficies y por tanto, sobre las lentes.

En otra forma preferente de realización de la invención, los valores de a_i, específicamente los valores a_6, a_7, y a_8, no son calculados en el procedimiento anterior sino que pueden ser escogidos directamente a partir de unos rangos preestablecidos. En este sentido es ventajoso que a_6 tenga un valor comprendido entre $-2x10^{-8}$ y $5x10^{-8}$ mm^{-4}, que a_7 tenga un valor comprendido entre $-2x10^{-8}$ y $1,2x10^{-7}$ mm^{-4}, y/o que a_8 tenga un valor comprendido entre $-2x10^{-8}$ y $1,2x10^{-7}$ mm^{-4}. Efectivamente mediante los citados análisis de sensibilidad se ha podido confirmar que dentro de los rangos indicados los resultados obtenidos han sido satisfactorios, ya que los resultados obtenidos en todos los casos analizados son equivalentes, por lo que cualquier otra combinación posible de variaciones suaves de coeficientes generara el mismo resultado. Se han hecho adicionalmente otros análisis, en los que no se han modificado los coeficientes asociados a la parte hiperbólica y, en cambio, se han modificado de una forma más pronunciada los valores asociados a la parte exponencial (a_6, a_7, a_8), hasta alcanzar diferencias de un 600% respecto del valor obtenido a partir del proceso iterativo. Los resultados obtenidos confirman que, para los valores a_6, a_7, a_8, los rangos indicados son los que permiten obtener lentes con las propiedades ópticas mejoradas.

La invención también tiene por objeto un procedimiento de fabricación de una lente oftálmica monofocal, caracterizado porque comprende una etapa de mecanización de una superficie de la lente oftálmica donde la superficie está definida por una función analítica del tipo:

$$f(x,y) = a_1 + a_2\sqrt{1-a_3x^2-a_4y^2} + a_5\exp\left\{a_6x^4 + a_7y^4 + a_8x^2y^2\right\}$$

Las ventajas de esta superficie analítica ya han sido comentadas más arriba. En este sentido es particularmente ventajoso que los coeficientes sean los coeficientes obtenibles mediante el procedimiento de diseño de acuerdo con la invención.

La invención tiene asimismo por objeto una lente oftálmica monofocal, caracterizada porque tiene una superficie definida por una función analítica del tipo:

$$f(x,y) = a_1 + a_2\sqrt{1-a_3x^2-a_4y^2} + a_5\exp\left\{a_6x^4 + a_7y^4 + a_8x^2y^2\right\}$$

cuyas ventajas ya han sido comentadas más arriba. Como ya se ha indicado anteriormente, ventajosamente los coeficientes son los coeficientes obtenibles mediante el procedimiento de diseño de acuerdo con la invención.

Breve descripción de los dibujos

Otras ventajas y características de la invención se aprecian a partir de la siguiente descripción, en la que, sin ningún carácter limitativo, se relatan unos modos preferentes de realización de la invención, haciendo mención de los dibujos que se acompañan. Las figuras muestran:

Fig. 1, cuatro comparativas de secciones transversales (coordenada z) de superficies de lentes definidas por una superficie puramente hiperbólica, una superficie puramente exponencial y la combinación de ambas.

Fig. 2, una comparativa de secciones transversales de superficies de lentes esféricas y una superficie de acuerdo con la invención.

Fig. 3, una comparativa de secciones transversales de superficies de lentes asféricas y una superficie de acuerdo con la invención.

Fig. 4, una tabla con unos primeros valores de los coeficientes a_1 – a_8.

Fig. 5, mapas de potencia media (a) y astigmatismo (b), cada 0,25D, hasta 30º obtenidos con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 4.

Fig. 6, una tabla con unos segundos valores de los coeficientes a_1 – a_8.

Fig. 7, mapas de potencia media (a) y astigmatismo (b), cada 0,25D, hasta 30º obtenidos con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 6.

Fig. 8, una tabla con unos terceros valores de los coeficientes a_1 – a_8.

Fig. 9, mapas de potencia media (a) y astigmatismo (b), cada 0,10D, hasta 30º obtenidos con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 8.

Fig. 10, una tabla con unos cuartos valores de los coeficientes a_1 – a_8.

Fig. 11, comparativa de mapas de astigmatismo y potencia media, cada 0,25D, hasta 30º obtenidos con una superficie esférica ((a) y (c)) y con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 10 ((b) y (d)).

Fig. 12, una tabla con unos quintos valores de los coeficientes $a_1 – a_8$.

Fig. 13, comparativa de mapas de astigmatismo y potencia media, cada 0,25D, hasta 30º obtenidos con una superficie esférica ((a) y (c)) y con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 12 ((b) y (d)).

Fig. 14, una tabla con unos sextos valores de los coeficientes $a_1 – a_8$.

Fig. 15, comparativa de mapas de astigmatismo y potencia media, cada 0,05D, hasta 30º obtenidos con una superficie esférica ((a) y (c)) y con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 14 ((b) y (d)).

Fig. 16, una tabla con unos séptimos valores de los coeficientes $a_1 – a_8$.

Fig. 17, comparativa de mapas de astigmatismo y potencia media, cada 0,10D, hasta 30º obtenidos con una superficie esférica ((a) y (c)) y con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 16 ((b) y (d)).

Fig. 18, gráfico de variación del coeficiente a_7 en función de los valores de esfera y de cilindro para el índice 1,6.

Fig. 19, gráfico de variación del coeficiente a_8 en función de los valores de esfera para el índice 1,6.

Fig. 20, gráfico comparativo de variación del coeficiente a_8 en función de los valores de esfera, para dos índices diferentes.

Fig. 21, gráfico comparativo de variación del coeficiente a_8 en función de los valores de cilindro, para dos índices diferentes.

Descripción detallada de unas formas de realización de la invención

En la Fig. 1, en los gráficos (a) a (d) se muestra, de una forma esquematizada, la aportación que hacen a una superficie de acuerdo con la invención cada una de las componentes hiperbólica y exponencial. Efectivamente, en estas figuras, la línea de trazo continuo representa la sección transversal de la superficie de la lente obtenida de acuerdo con la invención, la línea a rayas discontinuas muestra la componente hiperbólica y la línea de puntos muestra la componente exponencial. Se observa claramente que la componente hiperbólica es la componente dominante en la parte central de la lente, mientras que la componente exponencial permite introducir cambios (que pueden llegar a ser sustanciales) en la parte perimetral de la lente. Además, la combinación de ambas componentes permite generar superficies que no podrían ser obtenidas con una de las componentes aisladamente. Las curvas correspondientes a las cuatro figuras han sido calculadas con los siguientes datos de partida:

- Fig. 1a: esfera: +8D, cilindro: 0D, curva base: 67,83 mm, índice: 1,6, función de mérito: una función del tipo:

$$fm = \left[\sum_i \alpha_i m_i^2(\beta) \right]^{1/2}$$

que incluye el valor del astigmatismo oblicuo a 30º, ponderado con un valor 0,9, y el valor de la curvatura de campo a 30º, ponderado con un valor 0,1.

- Fig. 1b: esfera: +8D, cilindro: -4D, curva base: 67,833 mm, índice: 1,6, función de mérito: la misma de la Fig. 1a.

- Fig. 1c: esfera: -6D, cilindro: 0D, curva base: 498 mm, índice: 1,6, función de mérito: la misma de la Fig. 1a.

- Fig. 1d: esfera: -6D, cilindro: -4D, curva base: 498 mm, índice: 1,6, función de mérito: la misma de la Fig. 1a.

Por su parte, en la figura 2 se representan los perfiles de unas esferas con una pluralidad de radios de curvatura (trazos discontinuos) superpuestos al perfil de una lente de acuerdo con la invención, calculada a partir de los siguientes datos de partida: esfera: +8D, cilindro: -2,0D, curva base: 67,83 mm, índice: 1,6, función de mérito: la misma de la Fig. 1a. Análogamente, en la figura 3 se representan los perfiles de unas asferas con una pluralidad de asfericidades para un radio de curvatura determinado (trazos discontinuos) superpuestos al perfil de la lente de acuerdo con la invención de la figura 2. Como puede verse, ninguna de las curvas esféricas o asféricas puede superponerse a la curva de la superficie de acuerdo con la invención. Por lo tanto, la superficie de acuerdo con la invención puede ofrecer unas propiedades ópticas mejoradas respecto de las lentes esféricas o asféricas.

En la Fig. 4 se muestran los coeficientes obtenidos para el caso de una lente con un valor de esfera = 8D, cilindro = 0D, curva base = 67,83 mm e índice de refracción n = 1,6. Se ha realizado una optimización con una función de mérito del tipo:

$$fm = \left[\sum_i \alpha_i m_i^2(\beta) \right]^{1/2}$$

que incluye el valor del astigmatismo oblicuo a 30º, ponderado con un valor 0,9, y el valor de la curvatura de campo a 30º, ponderado con un valor 0,1. En la Fig. 5 se muestran los mapas de potencia media (a) y astigmatismo (b) hasta 30º obtenidos con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 4.

En la Fig. 6 se muestran los coeficientes obtenidos para el caso de una lente con un valor de esfera = 8D, cilindro = -2D, curva base = 67,83 mm e índice de refracción n = 1,6. Se ha realizado una optimización con la misma función de mérito del ejemplo anterior. En la Fig. 7 se muestran los mapas de potencia media (a) y astigmatismo (b) hasta 30º obtenidos con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 6.

En la Fig. 8 se muestran los coeficientes obtenidos para el caso de una lente con un valor de esfera = -3,25D, cilindro = -2D, curva base = 183,51 mm e índice de refracción n = 1,6. Se ha realizado una optimización con la misma función de mérito del ejemplo anterior. En la Fig. 9 se muestran los mapas de potencia media (a) y astigmatismo (b) hasta 30º obtenidos con una superficie analítica con los coeficientes de la Fig. 8.

En las figuras 10 a 17 se muestra unos ejemplos de cambios de curva base. En cada una de las figuras 11, 13, 15 y 17 se compara una lente esférica con una lente con una superficie de acuerdo con la invención. Los mapas superiores son los mapas de astigmatismo ((a) y (b)), y los mapas inferiores son los mapas de potencia media ((c) y (d)). Los mapas de la izquierda son los mapas de la lente esférica ((a) y (c)) mientras que los mapas de la derecha son los que una lente con una superficie de acuerdo con la invención, obtenida a partir de los coeficientes de las tablas 10, 12, 14 y 16, respectivamente. En todos los casos se ha empleado la misma función de mérito que en los ejemplos anteriores.

Las figuras 10 a 13 se corresponden con una lente con un valor de esfera = +7,0D, cilindro = 0D e índice de refracción n = 1,6, donde las figuras 10 y 11 se corresponden al caso de una curva base de 54,36 mm, mientras que las figuras 12 y 13 se corresponden al caso de una curva base de 67,83 mm.

Por su parte, las figuras 14 a 17 se corresponden con una lente con un valor de esfera = -4,0D, cilindro = 0D e índice de refracción n = 1,6, donde las figuras 14 y 15 se corresponden al caso de una curva base de 79,73 mm, mientras que las figuras 16 y 17 se corresponden al caso de una curva base de 183,51 mm.

En la Fig. 18 se muestra un gráfico de variación del coeficiente a_7 en función de los valores de esfera (eje X) y de cilindro (eje Y), en un caso en el que la curva base es 52,3 mm y el índice de refracción n es 1,7. Para el cálculo de a_7 se ha empleado la misma función de mérito de los ejemplos anteriores.

En la Fig. 19 se muestra un gráfico de variación del coeficiente a_8 en función de los valores de esfera (eje X), para diversas curvas base. El índice de refracción n es 1,7 y el valor de cilindro es -2,0D. Para el cálculo de a_8 se ha empleado la misma función de mérito de los ejemplos anteriores. En la Fig. 20 se muestran los resultados comparativos entre dos índices (1,5 y 1,7) en función de los valores de esfera (eje X) (valor de cilindro = -2,0D), mientras que en la Fig. 21 se muestran los resultados en función de los valores de cilindro (eje X) (valor de esfera = -2,0D).

REIVINDICACIONES

1 – Procedimiento de diseño de una superficie de una lente oftálmica monofocal, caracterizado porque dicha superficie está definida por una función analítica del tipo:

$$f(x,y) = a_1 + a_2\sqrt{1 - a_3x^2 - a_4y^2} + a_5 \exp\left\{a_6x^4 + a_7y^4 + a_8x^2y^2\right\}$$

donde a_5 es diferente de 0 y por lo menos uno de los coeficientes a_6, a_7 y a_8 es diferente de 0.

2 – Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque dichos coeficientes se calculan mediante un cálculo iterativo que comprende las siguientes etapas:

[a] fijar un valor para el índice de refracción de la lente oftálmica y para la curva base que se empleará para fabricar la lente oftálmica,

[b] fijar unos valores de esfera, cilindro y eje del cilindro que deberá cumplir la lente oftálmica,

[c] fijar unos valores nominales iniciales para los coeficientes a_1 – a_8,

[d] calcular, preferentemente por trazado de rayos, por lo menos una propiedad óptica de una lente con dichos valores,

[e] calcular el valor de una función de mérito del tipo:

$$fm = \left[\sum_i \alpha_i m_i^2(\beta)\right]^{1/2}$$

donde m_i es el valor de dicha propiedad óptica a un ángulo de visión β determinado respecto del eje óptico de la lente, y α_i es un valor de ponderación,

[f] optimizar dicha función de mérito mediante la fijación de nuevos valores nominales para dichos coeficientes a_1 – a_8 y

[g] repetición de los pasos [c] a [f] hasta la obtención del nivel de optimización deseado.

3 – Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque dicha función de mérito incluye el valor del astigmatismo oblicuo a 30º y, preferentemente, el valor α_i para el valor del astigmatismo oblicuo está comprendido entre 0,8 y 0,98.

4 – Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 ó 3, caracterizado porque dicha función de mérito incluye el valor de la curvatura de campo a 30º y, preferentemente, el valor α_i para el valor de la curvatura de campo está comprendido entre 0,02 y 0,2.

5 – Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque dicha superficie es la superficie cóncava de dicha lente.

6 – Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque a_1 es igual a 0, a_2 es igual al radio de curvatura en el centro de dicha superficie, con signo negativo, y a_5 es igual al radio de curvatura en el centro de dicha superficie.

7 – Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1, 5 y 6, caracterizado porque a_6 tiene un valor comprendido entre $-2x10^{-8}$ y $5x10^{-8}$ mm^{-4}.

8 – Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1, 5, 6 y 7, caracterizado porque a_7 tiene un valor comprendido entre $-2x10^{-8}$ y $1,2x10^{-7}$ mm^{-4}.

9 – Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1, 5, 6, 7 y 8, caracterizado porque a_8 tiene un valor comprendido entre $-2x10^{-8}$ y $1,2x10^{-7}$ mm^{-4}.

10 – Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, caracterizado porque cada uno de los coeficientes de dicha función analítica tiene un valor que está comprendido entre +/- 30% del valor nominal correspondiente obtenido a partir de dicha optimización.

11 – Procedimiento de fabricación de una lente oftálmica monofocal, caracterizado porque comprende una etapa de mecanización de una superficie de dicha lente oftálmica donde dicha superficie está definida por una función analítica del tipo:

$$f(x,y) = a_1 + a_2\sqrt{1-a_3x^2-a_4y^2} + a_5\exp\left\{a_6x^4 + a_7y^4 + a_8x^2y^2\right\}$$

12 – Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque dichos coeficientes son los coeficientes obtenibles mediante el procedimiento de las reivindicaciones 1 a 10.

13 - Lente oftálmica monofocal, caracterizada porque tiene una superficie definida por una función analítica del tipo:

$$f(x,y) = a_1 + a_2\sqrt{1-a_3x^2-a_4y^2} + a_5\exp\left\{a_6x^4 + a_7y^4 + a_8x^2y^2\right\}$$

14 – Lente según la reivindicación 13, caracterizado porque dichos coeficientes son los coeficientes obtenibles mediante el procedimiento de las reivindicaciones 1 a 10.

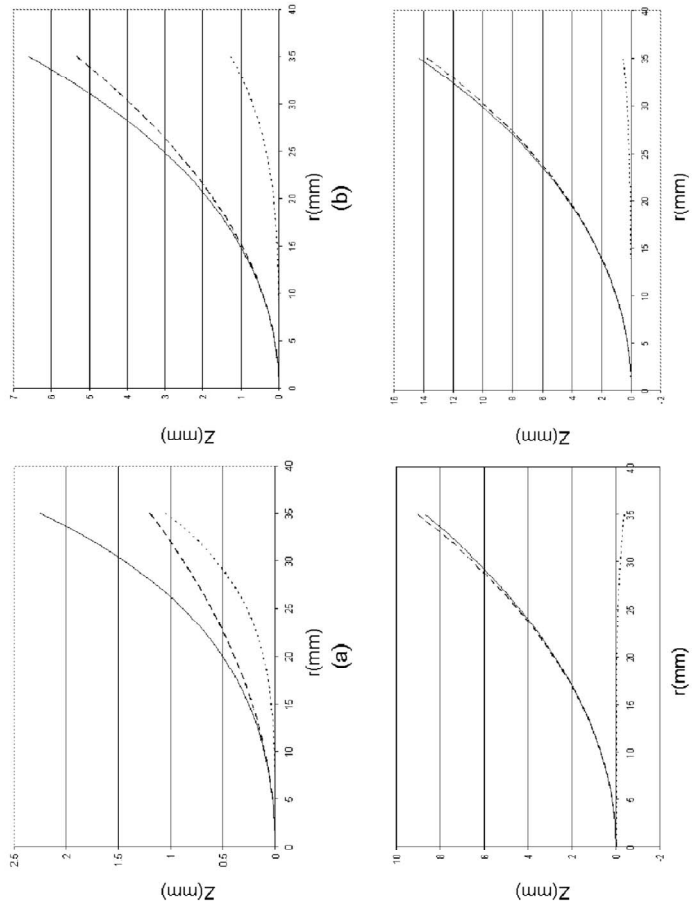


Fig. 1

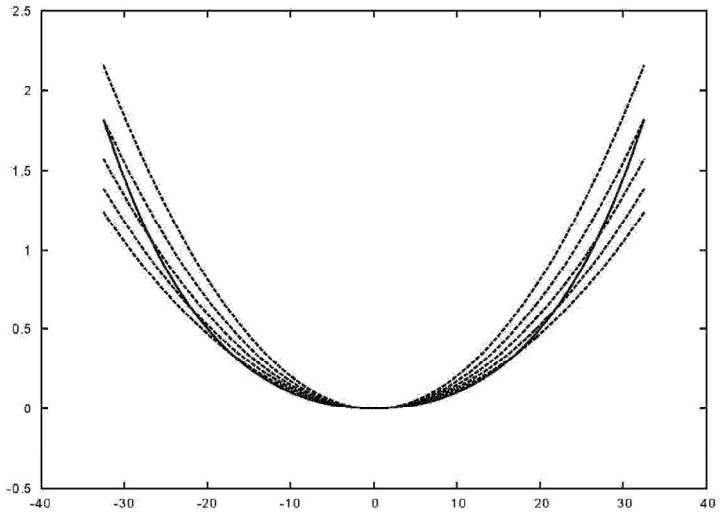

2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40

Fig. 2

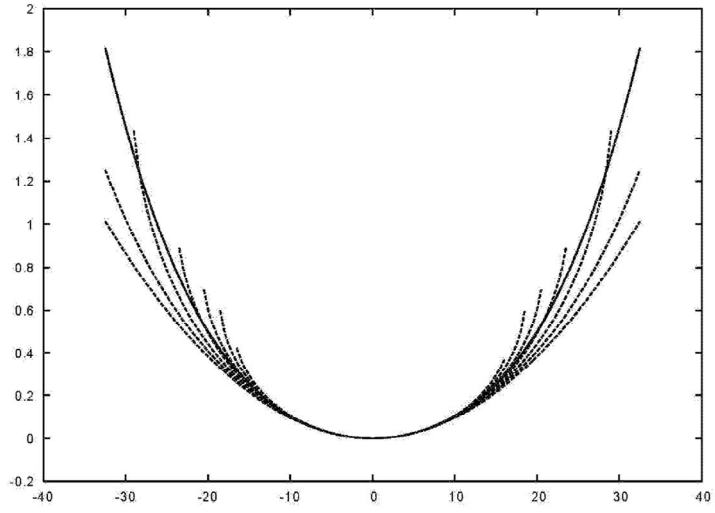
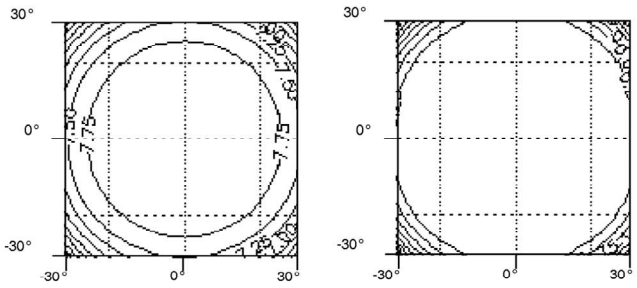

2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40

Fig. 3

a1(mm)	0
a2(mm)	293
a3(mm^{-2})	0,000007
a4(mm^{-2})	0,000007
a5(mm)	293
a6(mm^{-4})	2,39E-09
a7(mm^{-4})	2,39E-09
a8(mm^{-4})	4,78E-09

Fig. 4

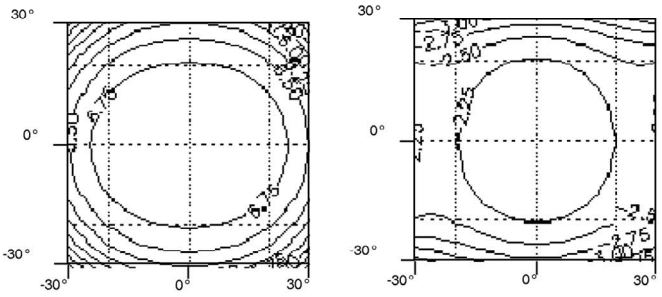


(a) (b)

Fig. 5

a1(mm)	0
a2(mm)	293
a3(mm^{-2})	0,000007
a4(mm^{-2})	0,000018
a5(mm)	293
a6(mm^{-4})	2,40E-09
a7(mm^{-4})	2,55E-09
a8(mm^{-4})	4,92E-09

Fig. 6

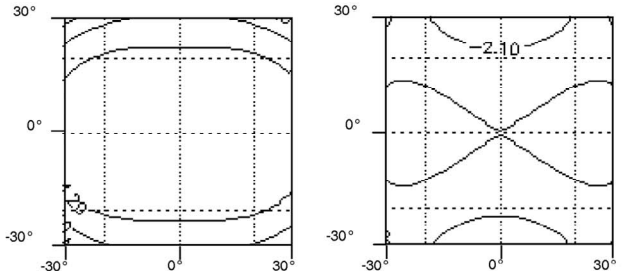


(a) (b)

Fig. 7

a1(mm)	0
a2(mm)	91
a3(mm^{-2})	0,00013
a4(mm^{-2})	0,00016
a5(mm)	91
a6(mm^{-4})	-1,94E-09
a7(mm^{-4})	-7,60E-10
a8(mm^{-4})	-2,07E-09

Fig. 8



(a) (b)

Fig. 9

a1(mm)	0
a2(mm)	123
a3(mm^{-2})	0,000061
a4(mm^{-2})	0,000061
a5(mm)	123
a6(mm^{-4})	2,51E-09
a7(mm^{-4})	2,47E-09
a8(mm^{-4})	3,10E-09

Fig. 10

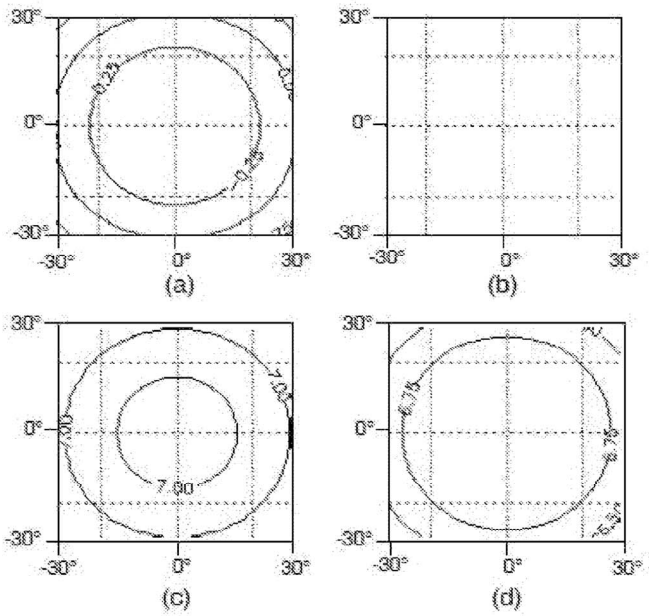


Fig. 11

a1(mm)	0
a2(mm)	215
a3(mm^{-2})	0,000016
a4(mm^{-2})	0,000016
a5(mm)	215
a6(mm^{-4})	2,47E-09
a7(mm^{-4})	3,10E-09
a8(mm^{-4})	-2,04E-09

Fig. 12

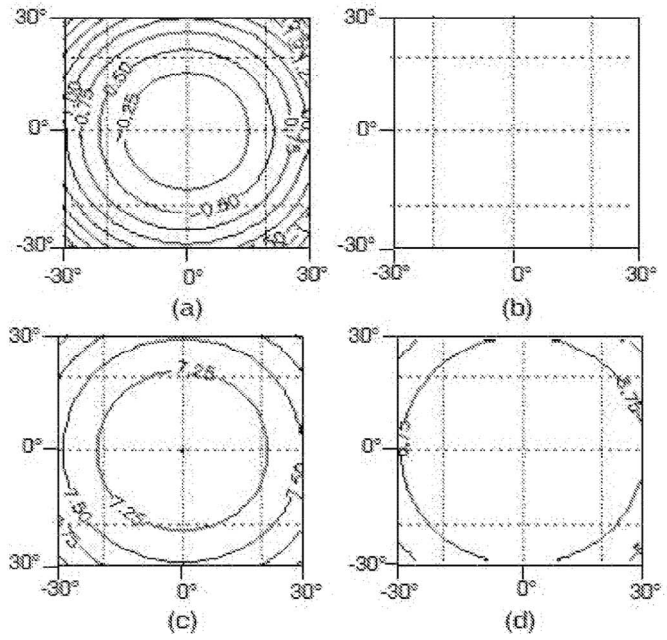


Fig. 13

a1(mm)	0
a2(mm)	51
a3(mm^{-2})	0,00038
a4(mm^{-2})	0,00038
a5(mm)	51
a6(mm^{-4})	3,10E-09
a7(mm^{-4})	3,10E-09
a8(mm^{-4})	6,21E-09

Fig. 14

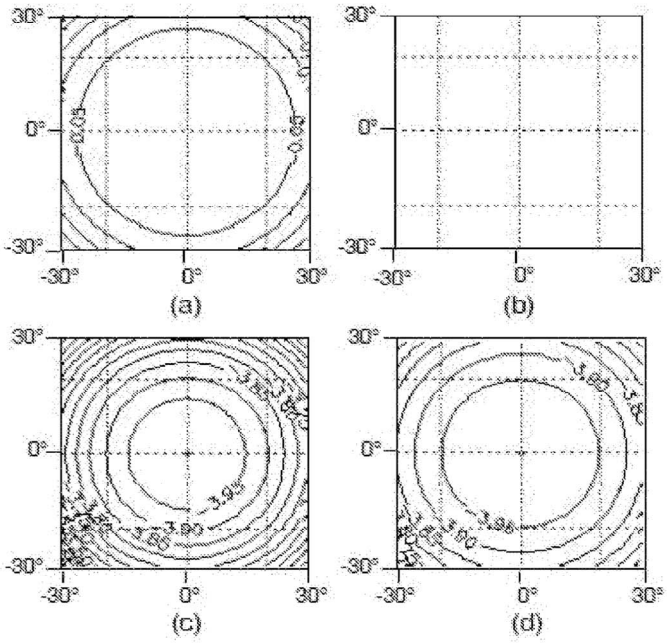


Fig. 15

a1(mm)	0
a2(mm)	85
a3(mm^{-2})	0,00014
a4(mm^{-2})	0,00014
a5(mm)	85
a6(mm^{-4})	-2,04E-09
a7(mm^{-4})	-2,04E-09
a8(mm^{-4})	-4,08E-09

Fig. 16

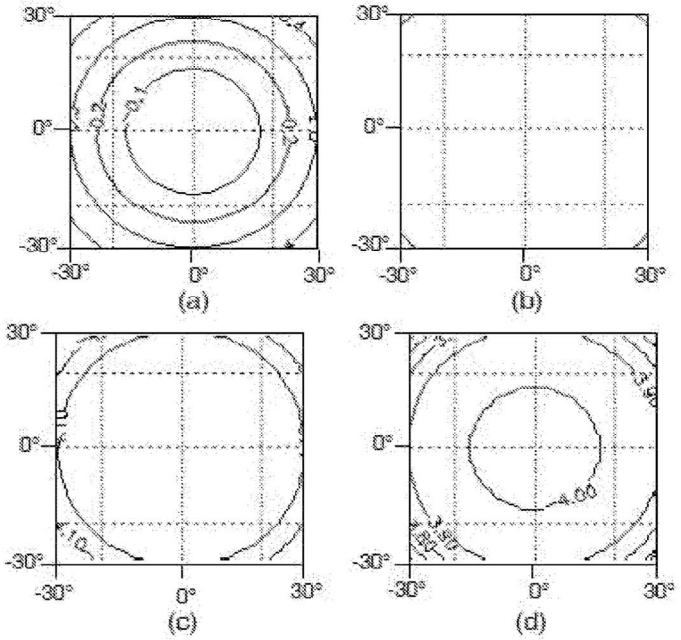


Fig. 17

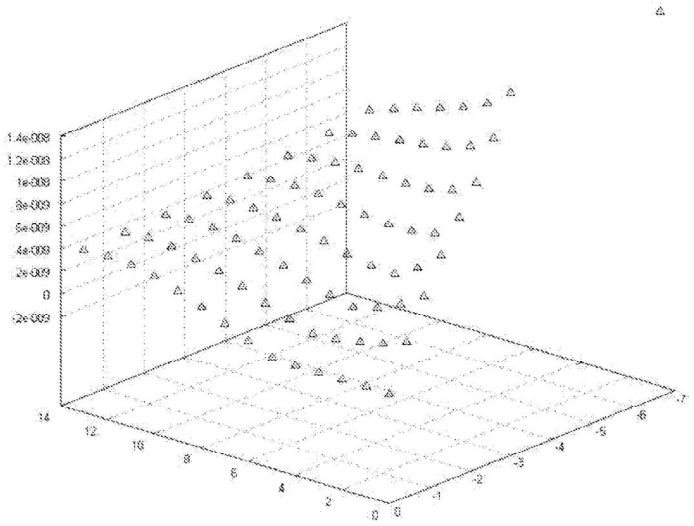

1.4e-008
1.2e-008
1e-008
8e-009
6e-009
4e-009
2e-009
0
-2e-009
14
12
10
8
6
4
2
0
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7

Fig. 18

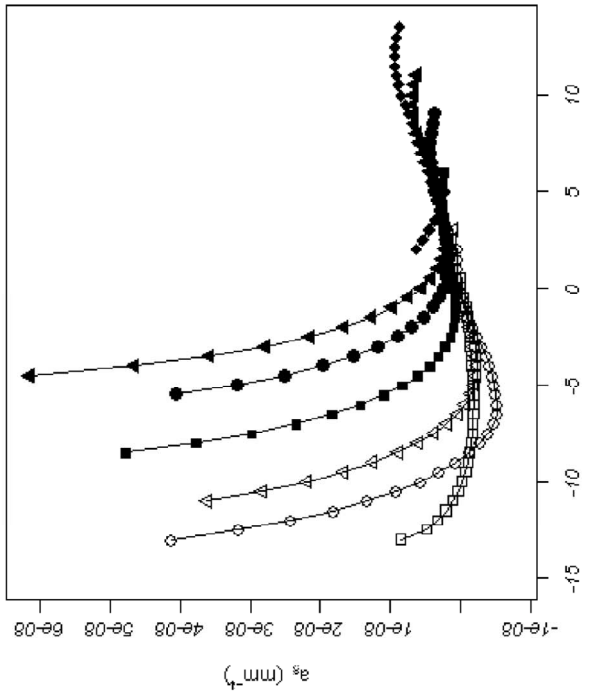

n = 1,6
Curva Base (D)
Figura
1
2
3
5
7
8,5
10
-16-08
16-08
26-08
36-08
46-08
56-08
66-08
-15
-10
-5
0
5
10
a_s (mm^{-1})

Fig. 19

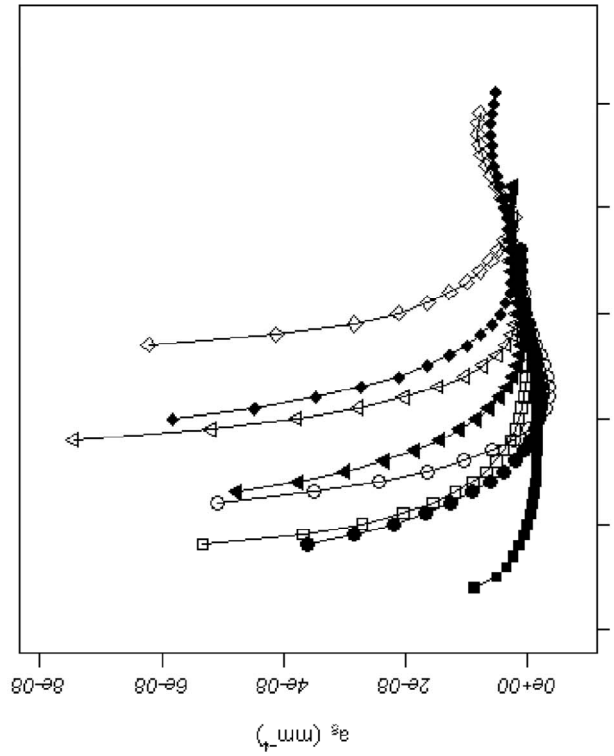

n = 1,5
Curva Base (D)
Figura
0,25
2
5,25
10
n = 1,7
Curva Base (D)
Figura
1
3
5
8
0e+00
2e-08
4e-08
6e-08
8e-08
a_s (mm^{-1})
-15
-10
-5
0
5
10

Fig. 20

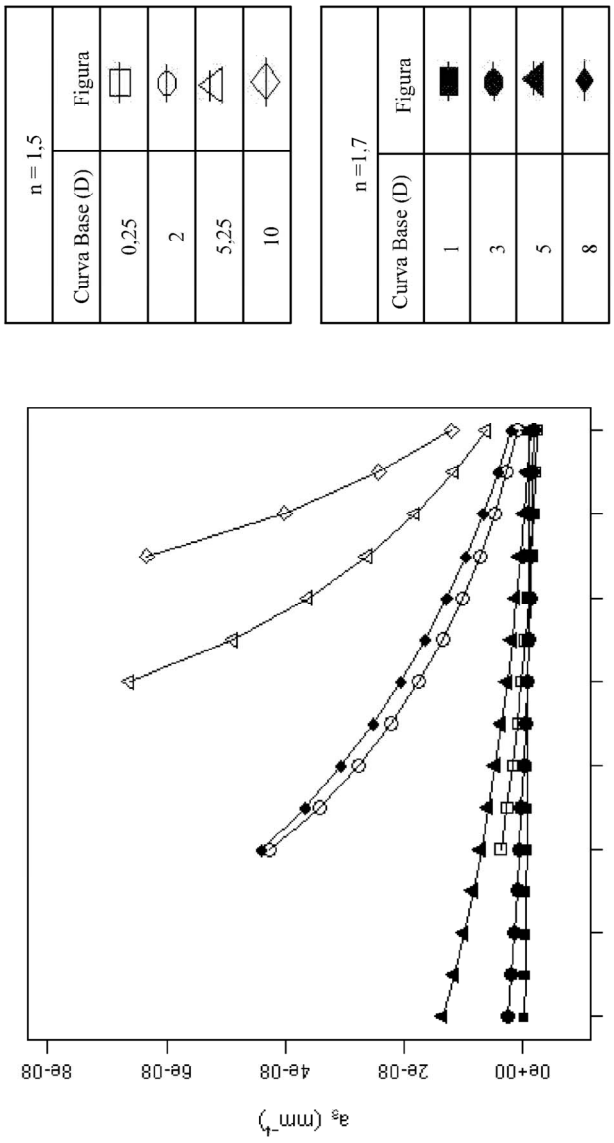

n = 1,5
Curva Base (D)
Figura
0,25
2
5,25
10
n = 1,7
Curva Base (D)
Figura
1
3
5
8
0e+00
2e-08
4e-08
6e-08
8e-08
a_s (mm^{-1})
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7

Fig. 21

OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(21) N.º solicitud: 201132048

(22) Fecha de presentación de la solicitud: 19.12.2011

(32) Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

(51) **Int. Cl. :** ***G02C7/02*** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	(56) Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 2006/064384 A2 (AUGEN ÓPTICOS, S.A. DE CV) 22.06.2006, resumen; página 2, líneas 9-22; página 3, línea 15 - página 4, línea 11; página 5, línea 1 - página 6, línea 4; página 7, línea 7 - página 8, línea 8; figuras 1-3.	1-3, 5, 10-14
A	US 5815237 A (VAYNTRAUB, M.) 29.09.1998, resumen; columna 1, línea 43 - columna 2, línea 4; columna 2, línea 27 - columna 3, línea 41; figura 1.	1, 2, 5, 11-14
A	ES 2337970 A1 (INDIZEN OPTICAL TECHNOLOGIES, S.L.) 30.04.2010, todo el documento.	1-3, 5, 10-14
A	US 5083859 A (JALIE, M.) 28.01.1992, todo el documento.	1, 2, 5, 11-14
A	US 6554427 B1 (DAVIS, B. ET AL.) 29.04.2003, todo el documento.	1, 11, 13
A	US 5050981 A (ROFFMAN, J.) 24.09.1991, todo el documento.	1, 2, 5, 11-14
A	US 4883350 A (MUCKENHIRN, D.) 28.11.1989.	-

Categoría de los documentos citados
X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica
O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe	Examinador	Página
19.04.2012	Ó. González Peñalba	1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G02C, G02B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 19.04.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	1-14	**SI**
	Reivindicaciones		**NO**
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	1-14	**SI**
	Reivindicaciones		**NO**

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

Consideraciones:
La presente Solicitud se refiere a un procedimiento de diseño de una superficie oftálmica que, en su primera reivindicación, expresa la función analítica definitoria de dicha superficie, formada por un término hiperbólico más un término exponencial de base neperiana, de potencias respectivamente de orden 2 y 4 y cuyos coeficientes se calculan, de acuerdo con la segunda reivindicación, mediante un procedimiento de ajuste iterativo que parte de unos valores iniciales, tanto para dichos coeficientes como para parámetros definitorios esenciales (índice de refracción, curva de base, valores de esfera, cilindro y eje de cilindro), para calcular, preferentemente por trazado de rayos, al menos una propiedad óptica de la lente con dichos valores y una función de mérito que pondera dicha al menos una propiedad óptica, y optimizar dicha función de mérito con sucesivos valores para dichos coeficientes y sucesivas iteraciones de los cálculos.

Las restantes reivindicaciones 3 a 12 concretan y especifican valores adecuados para el procedimiento, tanto de ciertos coeficientes de la expresión analítica de su superficie como de otros parámetros de la lente, atendiendo también, en la reivindicación 11, a la mecanización de la superficie, ya completamente definida.

Por último, las reivindicaciones 13 y 14 se refieren a la lente obtenida por el procedimiento anterior.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2006/064384 A2 (AUGEN ÓPTICOS, S.A. DE CV)	22.06.2006
D02	US 5815237 A (VAYNTRAUB, M.)	29.09.1998

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera que la invención definida en las reivindicaciones 1-14 tiene novedad y actividad inventiva por no estar comprendida en el estado de la técnica ni poder deducirse de este de un modo evidente por un experto en la materia.

Se han encontrado en el estado de la técnica documentos relativos a lentes con superficies definidas por expresiones analíticas cónicas, tales como elípticas, parabólicas o, como en la invención, hiperbólicas, pero en ninguno de ellos la superficie se corrige por un término exponencial de base neperiana con la forma definida en la reivindicación 1. Así, por ejemplo, en el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría A y considerado el antecedente técnico más próximo al objeto definido en las reivindicaciones, describe un procedimiento para el diseño de una lente oftálmica monofocal (o también multifocal: “single vision lens” o “multifocal lens” -página 7, líneas 7-9), descrita por una curva generatriz, llamada de sección, que genera la superficie de la lente al trasladarse a lo largo de una curva de trayectoria, análoga a la curva de base de esta invención, y para la que se contempla, también en analogía con la invención, que estas curvas generatrices estén definidas por secciones cónicas corregidas por términos de deformación. Sin embargo, como diferencia esencial con la invención, dichos términos de deformación no son términos exponenciales con la base natural neperiana y exponentes dados por potencias de las coordenadas cartesianas, sino de otro tipo que puede ser polinómico, y, en general, las expresiones analíticas finales definitorias de la superficie de la lente han de expresarse de forma parametrizada, y no en función de coordenadas cartesianas. Es interesante mencionar a este respecto el documento D02, también citado en el IET con la categoría A, en el que se describe una lente oftálmica cuya superficie posterior (cóncava) comprende una zona central definida por una sección cónica, y una zona periférica que incluye al menos una superficie definida por una función exponencial de base neperiana y exponente dado por una función lineal de la distancia al centro de lente (coordenada x). Dicha función lineal es, sin embargo, distinta de las expresiones polinómicas de cuarto orden empleadas en el término exponencial de la expresión de la reivindicación 1, de manera que no se puede llegar a ellas de un modo evidente partiendo de esta sencilla expresión de D 02. Existe además, redundando en las diferencias con la invención, una separación física de ambas zonas, y no una combinación de ellas en toda la superficie de lente.

Otros documentos como el D03 incluyen igualmente en la definición analítica de superficies de lentes oftálmicas una breve mención a “funciones exponenciales” para definir la totalidad o parte de la superficie de la lente, pero, en este caso, solo en alusión a los antecedentes de la técnica y sin especificar dichas funciones.

Volviendo a D01, este documento se sirve también, como en algunos otros documentos citados en el IET, de una función de mérito para el cálculo de los coeficientes implicados en dichas expresiones analíticas, que es de una forma similar a la de la invención, con sumandos que recogen propiedades ópticas como el error astigmático a diferentes ángulos de visión, calculadas también por técnicas de trazado de rayos y ponderadas según la importancia que se les dé en el resultado final.

Como se observa, a pesar de todas las analogías en los métodos de cálculo y los principios y objetivos que en ellos subyacen, la diferencia esencial en la definición de las superficies da lugar a lentes a las que no se puede llegar de un modo evidente partiendo de D01 o D 02, y confiere a la invención novedad y actividad inventiva respecto al estado de la técnica según los Artículos 6 y 8 de la vigente Ley de Patentes.